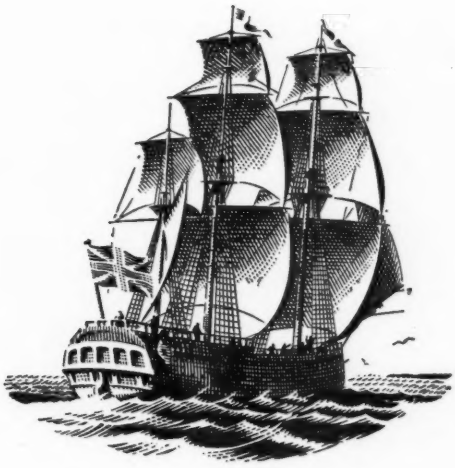
ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain



VOLUME XVII · 1958

LISTE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

ADAM, N. K.: L'imperméabilité à l'eau. 37.
ALLEN, J. E.: L'énergie thermonucléaire et les phénomènes de striction. 117.
AMPHLETT, C. B.: Les échanges ioniques dans les argiles. 149.
ANDRADE, E. N. DA C.: L'histoire des premiers aimants permanents. 22.
ARTICLES DE TÊTE
Le langage de la science. 171.
Quelques savants irlandais. 3.
Robert Hare et le chalumeau oxhydrique. 59.
Science et internationalisme. 115.
ARTICLES PARTICULIERS
Le Palais de la Découverte. 36.
Les recherches sur les réactions de fusion contrôlées. 96.
Science et technologie à l'Exposition de Bruxelles. 133.

BELL, R. P.: L'hydratation de solutions ioniques. 31.
BELOUSSOV, V. V.: Sur quelques facteurs régissant le développement de l'écorce terrestre. 173.
BROIDA, H. P.: Radicaux libres en cage. 208.
BURT, E. G. C.: Le repérage des satellites artificiels, son but et les méthodes utilisées. 216.

DEACON, G. E. R.: Les vagues de l'océan. 134.
DE BEER, Sir Gavin: Darwin et Wallace, il y a un siècle... 61.
DINGLE, Herbert: L'œuvre scientifique d'Emanuel Swedenborg. 127.

EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L.: L'étude de la fécondation chez les mammifères à l'aide des indicateurs radioactifs. 42.

HUBICKI, Wlodzimierz: La chimie et l'alchimie à Cracovie au XVIe siècle. 204.

INGLIS, N. P. et MCQUILLAN, M. K.: Le titane: un état des progrès. 77.

JAMES, W. O.: Plantes grasses. 90.
JONES, Sir Harold Spencer: L'origine du système solaire. 140.

MCCREA, W. H.: La cosmologie. 5.
MCQUILLAN, M. K.: *Voir* INGLIS, N. P. et MCQUILLAN, M. K.
MASSEY, H. S. W.: Les fusées et les satellites dans la recherche scientifique. 85.

PERUTZ, M. F.: Quelques progrès récents en biologie moléculaire. 190.
PIRIE, Antoinette: Les rapports entre la biochimie de l'œil et ses propriétés optiques. 181.

SALAM, A.: Les particules élémentaires et les symétries espace-temps. 97.
SALT, George: Comportement des parasites et lutte contre les insectes nuisibles. 145.
SIRLIN, J. L.: *Voir* EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L.
SMITH, Kenneth M. et WILLIAMS, Robley C.: Les virus des insectes et leur structure. 12.

THOMAS, J. B.: Structure et rôle des chloroplastides. 156.

WILLIAMS, Robley C.: *Voir* SMITH, Kenneth M. et WILLIAMS. Robley C.

REVUE DES LIVRES

Annals of the International Geophysical Year. Vols. III–V. 163.
ARON M. et GRASSÉ, P.-P.: Précis de biologie animale. 108.

BATES, Marston et HUMPHREY, P. S., publié par: The Darwin Reader. 107.
BEATTY, R. A.: Parthenogenesis and Polyploidy in Mammalian Development. 53.
BECKERLEY, J. G., publié par: Annual Review of Nuclear Science. Vol. VII. 224.
BESSIS, M.: Le sang et la transfusion sanguine. 165.
BETHE, H. A. et MORRISON, P.: Elementary Nuclear Theory (2e édition). 49.
BITTER, F.: Currents, Fields and Particles. 49.
BLIN-STOYL, R. J.: Theories of Nuclear Moments. 49.

CALDIN, E. F.: An Introduction to Chemical Thermodynamics. 162.
CARTER, G. S.: A Hundred Years of Evolution. 164.
CASON, J., publié par: Organic Syntheses. Vol. XXXVII. 225.
CERUTI, A.: Il Nuovo Pokorny. 164.
CHARLOT, G. et BÉZIER, Denise: Quantitative Inorganic Analysis. Traduit de la 3e édition française par R. C. Murray. 224.
CHAUVOIS, Louis: William Harvey. His life and times; his discoveries; his methods. 54.
CHAVAN, A. et CAILLEUX, A.: Détermination pratique des fossiles. 107.
CLAPP, L. B.: Chemistry of the Covalent Bond. 50.
CROOK, E. M., publié par: Biochemical Society Symposia No. 14: Structure of Nucleic Acids and their Role in Protein Synthesis. 52.

DARTNALL, H. J. A.: The Visual Pigments. 52.
DAVISON, B.: Neutron Transport Theory. 49.
DOWSON, W. J.: Plant Diseases due to Bacteria (2e édition). 53.
DUFAY, J.: Galactic Nebulae and Interstellar Matter. Traduit par A. J. Pomerans. 48.
DUMONT, R.: Types of Rural Economy. Studies in World Agriculture. 108.

EGGLESTON, H. G.: Problems of Euclidean Space. 162.
ELDERFIELD, R. C., publié par: Heterocyclic Compounds. Vol. VI. 50.

FAIRES, R. A. et PARKS, B. H.: Radioisotope Laboratory Techniques. 162.
FELDBERG, W. S., publié par: British Medical Bulletin. Vol. XIII, No. 3. Autonomic Nervous System. 165.

FIELD, F. H. et FRANKLIN, J. H.: Electron Impact Phenomena and the Properties of Gaseous Ions. 162.
FISCHER, Otto F.: Five Mathematical Structural Models. 106.
FOX, S. W. et FOSTER, J. F.: Introduction to Protein Chemistry. 164.
FREY-WYSSLING, A.: Macromolecules in Cell Structure. 226.
FRITZ, J. S. et HAMMOND, G. S.: Quantitative Organic Analysis. 225.

GIBSON, A. F., publié par: Progress in Semiconductors. Vol. II. 49.
GLICK, David, publié par: Methods of Biochemical Analysis. Vol. V. 108.
GOULD, S. H.: Variational Methods for Eigenvalue Problems. 48.
GRIFFITH, R. H. et MARSH, J. D. F.: Contact Catalysis (3e édition). 224.

HANBURY BROWN, R et LOVELL, A. C. B.: The Exploration of Space by Radio. 223.
HARVEY, E. Newton: A History of Luminescence, from the Earliest Times until 1900. 109.
HILL, W. C. Osman: Primates, Partie 3. Pithecoidea, Platyrrhini, Hapalidae. 53.

IMMS, A. D.: A General Textbook of Entomology (9e édition), revue par O. W. Richards et R. G. Davies. 53.

JONES, F. Llewellyn: The Physics of Electrical Contacts. 50.

KATZ, J. J. et SEABORG, G. T.: The Chemistry of the Actinide Elements. 107.
KEELE, K. D.: Anatomies of Pain. 108.
KEEVIL, J. J.: Medicine and the Navy 1200–1900. Vol. I, 1200–1649. 53.
KENDREW, W. G.: Climatology (2e édition). 226.
KITCHENER, J. A.: Ion-Exchange Resins. 106.
KOLTHOFF, I. M. et BELCHER, R., avec la collaboration de V. A. Stenger et G. Matsuyama: Volumetric Analysis. Vol. III. Titration Methods: Oxidation Reduction Reactions. 224.
KRAMERS, H. A.: Quantum Mechanics. 106.

LACK, David: Evolutionary Theory and Christian Belief. 51.
LOMBARD, Augustin: Géologie sédimentaire: Les séries marines. 51.

MADSEN, E. Rancke: The Development of Titrimetric Analysis till 1806. 166.
MASSIGNON, D.: Mécanique statistique des fluides. 162.
MAYR, Ernst, publié par: The Species Problem. 108.

METCALF, R. L., publié par: Advances in Pest Control Research. Vol. I. 109.
Molecular Physics. Vol. I, No. 1. 223.

NORD, F. F., publié par: Advances in Enzymology and Related Subjects of Biochemistry. Vols. XVIII et XIX. 52, 226.

PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia: The Galactic Novae. 48.
PERRIN, Fernand: Histoire des sciences. 109.
PIETERS, H. A. J. et CREYGHTON, J. W.: Safety in the Chemical Laboratory (2e édition). 50.
Piezoelectricity. 106.
PORTER, H. K., publié par: Symposia of the Society of Experimental Biology, No. 11. The Biological Action of Growth Substances. 51.
PRIGOGINE, I.: The Molecular Theory of Solutions. 50.

RANDHAWA, M. S.: Flowering Trees in India. 109.
READ, John: Through Alchemy to Chemistry. 110.
REIS, J. et NOBREGA, P., avec la collaboration de A. S. Reis, R. C. Bueno et M. Giovannoni: Tratado de Doenças das Aves (2e édition). Vols. I–IV. 165.
RICHHARIA, R. H.: Plant Breeding and Genetics in India. Vol. I. 54.
ROCARD, Y.: Dynamic Instability. Traduit du français par M. L. Meyer. 106.
ROCHOW, E. G., HURD, D. T. et LEWIS, R. N.: The Chemistry of Organometallic Compounds. 225.

SAGARIN, Edward, publié par: Cosmetics — Science and Technology. 166.
SARTON, George: Six Wings: Men of Science in the Renaissance. 54.
SAUNDERS, B. C.: Phosphorus and Fluorine. The Chemistry and Toxic Action of their Organic Compounds. 107.
SAX, N. Irving: Dangerous Properties of Industrial Materials. 166.
SCHATZMAN, E.: White Dwarfs. 223.
SCHUBERT, H. R.: History of the British Iron and Steel Industry from *c.* 450 B.C. to A.D. 1775. 110.
SERIES, G. W.: The Spectrum of Atomic Hydrogen. 223.
SINGER, Charles, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. et WILLIAMS, Trevor I., publié par: A History of Technology. Vol. III. From the Renaissance to the Industrial Revolution. *c.* 1500–*c.* 1750. 110.
SWAN, G. A. et FELTON, D. G. I.: Phenazines. 163.

TAYLOR, E. G. R.: The Haven-Finding Art. A History of Navigation from Odysseus to Captain Cook. 54.
TAYLOR, W. R.: Marine Algae of the North-eastern Coast of North America (2e édition revisée). 226.
Tetrahedron. Vol. I, Nos. 1–2. 107.
THOMSON, R. H.: Naturally Occurring Quinones. 163.

DE VAUCOULEURS, G.: Discovery of the Universe. 48.

WILSON, A. J. C., publié par: Structure Reports for 1951. Vol. XV. 163.
WOLSTENHOLME, G. E. W. et MILLAR, Elaine C. P., publié par: Ciba Foundation Colloquia on Endocrinology. Vol. X. Regulation and Mode of Action of Thyroid Hormones. 52.
WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, Cecilia M.: Chemistry and Biology of Purines (Ciba Foundation Symposium). 51.
WOOSTER, W. A.: Experimental Crystal Physics. 224.

TABLE DES MATIÈRES

Les articles sont ici disposés par ordre numérique de sujets, d'après le système de Classification Décimale Universelle. Edition abrégée trilingue (F10 publ. 277), British Standards Institution, Londres. Voir à la page IV le répertoire alphabétique.

06 INSTITUTS. SOCIÉTÉS. MUSÉES

061.41:5(493) Science et technologie à l'Exposition de Bruxelles. 133.
069.013 :5/6(443) La Palais de la Découverte. 36.

4 LINGUISTIQUE

42/49:070.432:5 La langage de la science (Article de Tête). 171.

5 SCIENCES GÉNÉRALES

5/6(443) :069.013 Le Palais de la Découverte. 36.
5:42/49:070.432 La langage de la science (Article de Tête). 171.
5(100.2) :070.432 Science et internationalisme (Article de Tête). 115.
5(493):061.41 Science et technologie à l'Exposition de Bruxelles. 133.
51/54:92(415) :070.432 Quelques savants irlandais (Article de Tête). 3.
53/55:629.136.3 :523.4 Les fusées et les satellites dans la recherche scientifique. MASSEY, H. S. W. 85.
53/59:92 L'œuvre scientifique d'Emanuel Swedenborg. DINGLE, Herbert. 127.

52 ASTRONOMIE

523.11 La cosmologie. MCCREA, W. H. 5.
523.2 L'origine du système solaire. JONES, Sir Harold Spencer. 140.
523.4:53/55 :629.136.3 Les fusées et les satellites dans la recherche scientifique. MASSEY, H. S. W. 85.
523.4:531.352 :621.396.9 Le repérage des satellites artificiels, son but et les méthodes utilisées. BURT, E. G. C. 216.

53 PHYSIQUE

530.1:539.152 Les particules élémentaires et les symétries espace-temps. SALAM, A. 97.
531.352 :621.396.9 :523.4 Le repérage des satellites artificiels, son but et les méthodes utilisées. BURT, E. G. C. 219.
532.593.08 :551.465 Les vagues de l'océan. DEACON, G. E. R. 134.
532.696 L'imperméabilité à l'eau. ADAM, N. K. 37.
538.221(091) :621.318.2:93 L'histoire des premiers aimants permanents. ANDRADE, E. N. DA C. 22.
539.152:530.1 Les particules élémentaires et les symétries espace-temps. SALAM, A. 97.
539.17 Les recherches sur les réactions de fusion contrôlées. 96.
539.17 :621.039.6 :621.3.014.32 L'énergie thermonucléaire et les phénomènes de striction. ALLEN, J. E. 117.

54 CHIMIE

54:135.5«15» (438):93 La chimie et l'alchimie à Cracovie au XVIe siècle. HUBICKI, Włodzimierz. 204.
541.132 L'hydratation de solutions ioniques. BELL, R. P. 31.
541.183.24 :661.183.1 :553.61 Les échanges ioniques dans les argiles. AMPHLETT, C. B. 149.
541.28:591.313 L'étude de la fécondation chez les mammifères à l'aide des indicateurs radioactifs. EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L. 42.
541.515 Radicaux libres en cage. BROIDA, H. P. 208.
542.534 :070.432:92 Robert Hare et le chalumeau oxhydrique (Article de Tête). 59.
547.963.32 :576.312.2 Quelques progrès récents en biologie moléculaire. PERUTZ, M. F. 190.

55 GÉOLOGIE. GÉOPHYSIQUE

551.24 Sur quelques facteurs régissant le développement de l'écorce terrestre. BELOUSSOV, V. V. 173.

551.465 :532.593.08 Les vagues de l'océan. DEACON, G. E. R. 134.

553.61 :541.183.24 :661.183.1 Les échanges ioniques dans les argiles. AMPHLETT, C. B. 149.

57 BIOLOGIE

575.4:92 Darwin et Wallace, il y a un siècle... DE BEER, Sir Gavin. 61.

576.312.2 :547.963.32 Quelques progrès récents en biologie moléculaire. PERUTZ, M. F. 190.

576.858.77 :595.7 Les virus des insectes et leur structure. SMITH, Kenneth M. et WILLIAMS, Robley C. 12.

577.15 :591.484.6 Les rapports entre la biochimie de l'œil et ses propriétés optiques. PIRIE, Antoinette. 181.

58 BOTANIQUE

581.132 Structure et rôle des chloroplastides. THOMAS, J. B. 156.

581.54 Plantes grasses. JAMES, W. O. 90.

59 ZOOLOGIE

591.313:541.28 L'étude de la fécondation chez les mammifères à l'aide des indicateurs radioactifs. EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L. 42.

591.484.6 :577.15 Les rapports entre la biochimie de l'œil et ses propriétés optiques. PIRIE, Antoinette. 181.

591.69–57 :632.7 Comportement des parasites et lutte contre les insectes nuisibles. SALT, George. 145.

595.7 :576.858.77 Les virus des insectes et leur structure. SMITH, Kenneth M. et WILLIAMS, Robley C. 12.

62 ART DE L'INGÉNIEUR

621.039.6 :621.3.014.32 :539.17 L'énergie thermonucléaire et les phénomènes de striction. ALLEN, J. E. 117.

621.3.014.32 :539.17 :621.039.6 *Idem.*

621.318.2 :538.221(091) :93 L'histoire des premiers aimants permanents. ANDRADE, E. N. DA C. 22.

621.396.9 :523.4 :531.352 Le repérage des satellites artificiels, son but et les méthodes utilisées. BURT, E. G. C. 216.

629.136.3 :523.4:53/55 Les fusées et les satellites dans la recherche scientifique. MASSEY, H. S. W. 85.

63 AGRICULTURE

632.7:591.69–57 Comportement des parasites et lutte contre les insectes nuisibles. SALT, George. 145.

66/69 TECHNOLOGIE. MÉTALLURGIE

661.183.1 :553,61 :541.183.24 Les échanges ioniques dans les argiles. AMPHLETT, C. B. 149.

669.295 Le titane: un état des progrès. INGLIS, N. P. et MCQUILLAN, M. K. 77.

9 BIOGRAPHIE HISTOIRE DE LA SCIENCE

92:53/59 L'œuvre scientifique d'Emanuel Swedenborg. DINGLE, Herbert. 127.

92:542.534 :070.432 Robert Hare et le chalumeau oxhydrique (Article de Tête). 59.

92(415) :070.432 :51/54 Quelques savants irlandais (Article de Tête) 3.

92:575.4 Darwin et Wallace, il y a un siècle... DE BEER, Sir Gavin. 61.

93:133.5«15» (438):54 La chimie et l'alchimie à Cracovie au XVIe siècle. HUBICKI, Włodzimierz. 204.

93:538.221(091) :621.318.2 L'histoire des premiers aimants permanents. ANDRADE, E. N. DA C. 22.

RÉPERTOIRE ALPHABÉTIQUE

Acides nucléiques 547.963.32
Agriculture
  Insectes nuisibles 632.7
Aimants permanents 621.318.2
Alchimie 93
Argiles 553.61
Astrophysique 523.1
Atmosphère, exploration de l' 551
Biochimie 577.15
Biographie 92
Biologie 57
Biologie moléculaire 576.312.2
Botanique 581

Cactées 581
Chalumeaux 542.534
Chimie physique 541.13
Chloroplastides 581.132
Cosmologie 523.11
Cytologie 576.3

Darwin, Charles 92
Déchets radioactifs, élimination 661.183
Dynamique 531.3

Echanges ioniques 661.183.1
Ecorce terrestre 551.24
Embryologie 591.31

Energie thermonucléaire 621.039.6
Evolution 575.4
Exposition de Bruxelles 061.41

Fécondation des mammifères 591.313
Fusées 629.136.3
Fusion thermonucléaire 539.17

Géologie 551.2
Géophysique 55

Hare, Robert 92
Hérédité 575
Histoire des sciences 93
Histologie végétale 581
Hydratation des ions 541.132
Hydrodynamique 532.5

Imperméabilité à l'eau 532.696
Indicateurs radioactifs 541.28
Insectes
  Virus 595.7
Insectes nuisibles 591.69
Internationalisme et science 5(100.2)

Langage scientifique 42/49

Magnétisme 538.221
Métallurgie 669
Météorologie 55
Mouvement ondulatoire 532.59

Œil
  Biochimie 591.484.6
Orbites des satellites 521.352
Origine des espèces 575.4

Palais de la Découverte 069.013(443)
Parasites des insectes 591.69–57
Parité 530.1
Particules élémentaires 539.152
Phénomènes de surface 532.6
Photosynthèse 581.13
Physiologie végétale 581.1
Physique corpusculaire 539.15
Planètes, systèmes des 523.2
Plantes grasses 581.54
Protéines, synthèse 547.96

Radicaux libres en cage 541.515
Radioélectricité 621.396.9

Réactions thermonucléaires 539.17
Repérage des satellites 531.352

Satellites artificiels 523.4
Savants irlandais 51/54
Sélection naturelle 575.4
Spermatogenèse 591.313
Solutions aqueuses
  Théorie ionique 541.132
Striction magnétique 621.3.014.32
Succulence 581.54
Swedenborg, Emanuel 92
Symétries espace-temps 530.1
Système solaire 523.2

Tectonique 551.24
Thermodynamique chimique 541.183
Titane 669.295

Vagues de l'océan 551.465
Virus des insectes 576.858.77
Vision
  Biochimie 591.484

Wallace, Alfred Russel 92

ZETA 539.17
Zoologie 59

Imprimé en Grande-Bretagne par THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, pour les éditeurs*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres, S.W.1*

ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XVII Janvier 1958 NUMÉRO 65

SOMMAIRE

070.432:51/54:92(415)
Article de Tête: Quelques savants irlandais 3

523.11
La cosmologie — W. H. McCREA, M.A., Ph.D., Hon. D.Sc., F.R.S. — 5

576.858.77:595.7
Les virus des insectes et leur structure — KENNETH M. SMITH, C.B.E., D.Sc., Ph.D., F.R.S., et ROBLEY C. WILLIAMS, A.B., Ph.D. — 12

621.318.2:538.221(091)
L'histoire des premiers aimants permanents — E. N. DA C. ANDRADE, D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S. — 22

541.132
L'hydratation de solutions ioniques — R. P. BELL, M.A., B.Sc., F.R.S. — 31

069.013:5/6(443)
Le Palais de la Découverte 36

532.696
L'imperméabilité à l'eau — N. K. ADAM, M.A., Sc.D., F.R.S. — 37

591.313:541.28
L'étude de la fécondation chez les mammifères à l'aide des indicateurs radioactifs — R. G. EDWARDS, B.Sc., Ph.D., et J. L. SIRLIN, Dr. Nat. Sci. — 42

049.3
Revue des livres 48

Brèves notices bibliographiques 55

Notes biographiques sur les collaborateurs 56

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
(*Pour les éditions étrangères:* G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E.)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Quelques savants irlandais

La *British Association for the Advancement of Science* vient de tenir ses assises à Dublin. Ceci nous rappelle que les apports scientifiques irlandais sont considérables et d'une qualité remarquable pour un si petit pays. Ils méritent d'être mieux connus, et l'occasion est bonne d'en évoquer quelques-uns.

Le nom de Robert Boyle s'impose tout d'abord, bien que le berceau de sa famille ait été le Herefordshire. Ce septième fils du premier comte de Cork et d'Orrery naquit au château de Lismore, en Munster, mais c'est en Angleterre qu'il travailla, trouvant que l'ambiance orageuse de l'Irlande ne convenait guère aux méditations scientifiques. Ses travaux contribuèrent néanmoins, et dans une large mesure, à orienter l'essor des sciences dans son pays natal, et inspirèrent la création de la Société Philosophique de Dublin (1683). Celle-ci disparut bientôt pour faire place à la *Royal Dublin Society* (1731) et la *Royal Irish Academy* (1785). Il convient, d'autre part, de noter que, de même que Boyle a été appelé «le père de la chimie moderne», c'est le chimiste irlandais MacNeven (1763–1841), professeur de chimie et de matière médicale au *College of Physicians and Surgeons* de New-York, que l'on a appelé «le père de la chimie américaine».

Toutes les époques n'enfantent pas des Boyle; l'Irlande a néanmoins donné à celui-ci de dignes successeurs. Il y eut notamment l'original Richard Kirwan (1733–1812), le «philosophe de Dublin», qui de 1777 à 1787 séjourna à Londres et y rencontra les représentants les plus éminents de la chimie, Black (Irlandais lui-même), Cavendish et Priestley, en un temps où la chimie était en pleine évolution. Revenu à Dublin enthousiasmé de cette illustre compagnie, il s'efforce d'intéresser ses compatriotes à la chimie, surtout par l'intermédiaire de la *Royal Irish Academy* qu'il préside pendant les 13 dernières années de sa vie. A Londres Kirwan avait été un chaud partisan de la théorie du phlogistique, laquelle, bien que fausse, était alors d'une grande utilité. Son *Essay on Phlogiston* est chaleureusement accueilli par le public. Cependant Lavoisier et ses collaborateurs font publier une traduction française du livre en faisant suivre chaque chapitre d'une réfutation. Kirwan admit la réfutation «avec cette franchise qui distingue les esprits supérieurs», à la différence de Priestley qui continua jusqu'à sa mort à prôner la théorie du phlogistique. Les autres travaux de Kirwan qui lui valurent la médaille Copley de la *Royal Society* portaient sur une grande diversité de sujets: affinité chimique, minéralogie, teinture et blanchiment, et chimie agricole.

William Higgins (1763–1825) est une personnalité discutée, mais tout de même un grand chimiste. Il fut durant les trente dernières années de sa vie le chimiste de la Commission de la Toile (*Irish Linen Board*) et, grâce à Kirwan, titulaire de la chaire de chimie et de minéralogie de la *Dublin Society*. Ses rapports avec cette dernière furent plutôt tumultueux. Depuis 150 ans on affirme que Higgins, dans son *Comparative View* de 1789, qui est surtout une réfutation de l'*Essay on Phlogiston* de Kirwan, a devancé Dalton comme initiateur de la théorie atomique. Il est assez difficile de juger du bien-fondé de ces revendications, mais elles ne sont certes pas injustifiées. Quelqu'un d'autorisé a suggéré que pour être équitable on devrait dire «la théorie de Dalton-Higgins». Il est à noter que celui-ci tient sans doute ses idées sur la nature des atomes de son oncle Bryan Higgins (1741–1818), dont William, avant d'aller à Oxford, avait fréquenté le laboratoire chimique, situé dans le quartier de Soho, à Londres.

Peter Woulfe (1727–1803) est un autre chimiste irlandais de valeur; personnage original lui aussi et détenteur de la médaille Copley. La bouteille Woulfe, bien connue des étudiants de chimie, rappelle son nom, bien qu'elle ait été inventée par Glauber. Il faisait probablement partie de la commission de chimistes devant laquelle le Dr. Price, de Guildford, avait été mis en demeure de prouver qu'il était capable de changer en or du métal vil. Price faiblit au dernier moment et se suicida avant l'épreuve.

Trop brève serait la liste de chimistes distingués où ne figurerait pas le nom de Sir Robert Kane (1809–1890). Dès l'âge de 35 ans il avait remporté la médaille royale de la *Royal Society* et acquis une réputation internationale comme chimiste. Il s'était en outre distingué comme éducateur et administrateur. Son livre sur les ressources industrielles de l'Irlande est un chef-d'œuvre reconnu. On ne saurait omettre non plus le nom de James Muspratt (1793–1886) et de ses fils Edmund Knowles et James Sheridan de la liste des chimistes de marque. Josias Gamble (1776–1848), autre pionnier de l'industrie chimique britannique et pendant quelque temps l'associé de James Muspratt, venait d'Enniskillen et, avant de s'établir à St. Helens, dans le Lancashire, possédait des

usines de produits chimiques à Monaghan et à Dublin. James Mallet (1832–1912), diplômé de l'Université de Dublin, occupa d'importantes chaires de chimie aux Etats-Unis. En 1882, il fut élu à la présidence de l'*American Chemical Society*, ce qui était un hommage éclatant à un étranger qui, de plus, avait fait la guerre de la Sécession du côté des vaincus seulement dix-sept ans auparavant.

Nombreux également sont les Irlandais qui se sont distingués en physique et en mathématiques; mais c'est peut-être William Rowan Hamilton (1805–1865) qui est le plus grand des savants irlandais. Enfant il sortait de l'ordinaire: à treize il savait autant de langues qu'il avait d'années, y-compris l'arabe, le sanscrit et le persan. Plus tard, tandis qu'il était encore étudiant, il accéda à la chaire d'astronomie de *Trinity College* à laquelle était lié le titre d'*Astronomer Royal of Ireland*. En cette qualité il était appelé à examiner des diplômés. Ses premiers travaux aboutirent à la découverte de la réfraction conique; mais sa plus grande découverte fut celle du calcul des quaternions, en 1843, qu'il développa pendant les vingt-deux dernières années de sa vie, s'en servant pour résoudre des problèmes de dynamique, d'astronomie et de théorie des ondes. Soit dit en passant que son contemporain George Boole (1815–1869), né lui en Angleterre, et professeur à Cork, fonda la logique mathématique et découvrit les invariants algébriques.

John Tyndall (1820–1893), né à Leighlin Bridge, successeur de Faraday à la Royal Institution, était diversement doué. Sa réputation repose principalement sur ses travaux sur la chaleur rayonnante, l'absorption de la chaleur par les gaz et la diffusion de la lumière. Il s'est distingué également dans le domaine de la vulgarisation scientifique. Thomas Andrews (1813–1885) de Belfast a fait une étude poussée de la liquéfaction des gaz et découvert le phénomène de la température critique. Charles Parsons (1854–1931), l'inventeur de la turbine à vapeur, fut un ingénieur mécanicien de grand talent. Ses aptitudes scientifiques lui venaient sans doute, du moins en partie, de son père, le troisième comte de Rosse, astronome remarquable qui fit construire dans l'atelier attenant à son château, à Parsonstown, un grand télescope à réflecteur de 1m 80. C'est l'instrument qui permit de découvrir la structure en spirale des nébuleuses blanches.

La «Contraction de FitzGerald» rappelle le génial professeur de physique de *Trinity College*, C. F. FitzGerald (1851–1901). S'intéressant vivement aux questions relatives à l'éther, il tente d'expliquer l'anomalie bien connue de Michelson-Morley. Il signale, en 1891, que cette anomalie disparaît si on admet que les corps subissent une contraction dans la direction de leur mouvement. Dans une étude quantitative du problème il calcula l'étendue théorique de la contraction. Sa théorie, reprise par le mathématicien Joseph Larmor (1857–1942), entre autres, fut par la suite intégrée dans la théorie générale de la relativité.

John Joly (1857–1933) mérite d'être mentionné ici. Physicien et géologue, il est l'initiateur de la théorie des cycles thermiques fondée sur la diffusion générale des éléments radioactifs dans la croûte terrestre. Il tenta de calculer l'âge de la terre d'après la salinité de la mer et, d'autre part, fut un des premiers à étudier la photographie en couleurs. A G. J. Stoney (1826–1911) de Galway revient le mérite d'avoir imaginé le mot «électron» pour désigner le «grain» d'électricité. R. S. Ball (1840–1913) de Dublin, après s'être distingué en Irlande comme astronome, accéda à la chaire d'astronomie et de géométrie à Cambridge. G. G. Stokes (1819–1903) fut un brillant mathématicien et physicien; il réalisa d'importants travaux en hydrodynamique et sur la théorie de la lumière.

Les savants irlandais dont il a été question plus haut sont ceux dont l'œuvre a eu le plus de retentissement. Il y en eut d'autres, cependant, bien connus des historiens scientifiques, dont l'apport à la science est loin d'être négligeable, comme T. W. Callan, R. Chevenix, T. Rutty, C. Lucas, D. Macbride, R. L. Praeger et W. Stokes, pour ne citer que quelques noms pris au hasard.

Le climat troublé de l'Irlande, pour reprendre la remarque de Boyle, n'a pas été favorable à la pensée créatrice, et l'indépendance enfin acquise n'a pas résolu tous les problèmes; mais la curiosité scientifique a survécu à toutes les difficultés; c'est la leçon qui se dégage de ce bref aperçu, inspiré par la réunion de la *British Association*.

La cosmologie

par W. H. McCREA

Les astronomes sont en général d'accord sur les conclusions les plus importantes que l'on peut tirer de l'observation de l'univers. Pourtant, on ne peut encore décider, à partir d'observations optiques ou radioélectriques, si l'univers dans son ensemble évolue ou se trouve dans un état stable. On a réfuté récemment certaines objections théoriques et observationnelles à la cosmologie de l'état de régime, et elle semble permettre une théorie de la formation des galaxies plus riches de promesses qu'aucune théorie évolutionniste. On essaie ici de passer en revue le sujet brièvement.

L'univers dans son ensemble doit inévitablement exciter la curiosité des savants, mais nous sommes amenés à l'étudier par les questions de physique les plus ordinaires. Par exemple, on peut définir un système de références non en rotation par rapport à l'ensemble des galaxies. Ceci indique au moins une façon pour l'univers dans son ensemble d'influencer chaque expérience de laboratoire. Plus généralement, nous comprenons que les lois de la physique et l'univers physique actuel doivent être interdépendants, si bien que la physique doit se fondre dans la cosmologie.

Il convient de définir la cosmologie comme une étude de l'univers astronomique, en tant que système de galaxies et de matière dans l'espace intergalactique. Nous ne nous occupons donc pas des problèmes intérieurs à chaque galaxie, à moins qu'ils n'influent sur le comportement de l'ensemble ou ne l'expliquent en quelque sorte. Le moment semble bien choisi pour faire le bilan des résultats atteints, puisqu'il semble qu'il y ait un temps d'arrêt, malgré le progrès qui résultera évidemment des recherches actuelles de physique et d'astronomie.

L'UNIVERS GALACTIQUE

Les raies du spectre optique des galaxies sont d'autant plus déplacées vers le rouge que leur brillance apparente est moindre. En première approximation, ceci s'accorde bien avec une récession des galaxies à une vitesse proportionnelle à leur distance. C'est l'interprétation générale. Des observations américaines récentes [1, 2], l'ont confirmé: la ligne de 21 cm du spectre de haute fréquence subit un déplacement correspondant bien au déplacement optique, dans les quelques cas examinés. La constante de proportionnalité dans la loi de vitesse (loi de Hubble) s'écrit $1/\tau$, ce qui veut dire que si les galaxies avaient toujours eu leur vitesse actuelle, elles se seraient trouvées au même point de l'espace il y a τ années. La valeur généralement admise de τ, fondée sur la révision importante de l'échelle des distances de W. Baade est $5{,}4 \times 10^9$ années [3]. Nous arrondirons à 6×10^9 années dans cette discussion, puisque la tendance est à l'augmentation.

Le fait qu'une propriété aussi générale que le mouvement des galaxies soit la même dans toutes les directions suggère fortement que l'univers dans son ensemble est isotrope autour de notre position. Si l'univers n'était pas homogène, mais isotrope autour de nous, nous serions dans une position hautement privilégiée. Nous ne pouvons accepter ceci, et nous concluons donc que l'univers est homogène, donc isotrope par rapport à toute position. Le nombre de galaxies que les moyens actuels d'observation permettent de voir est de l'ordre de 10^{10}. Par suite de difficultés pratiques, ce que l'on sait par observation sur leur position ne permet pas encore de tirer des conclusions directes. Ce n'est cependant pas en opposition avec le concept d'homogénéité à grande échelle.

L'homogénéité veut dire qu'un observateur sur n'importe quelle autre galaxie aurait la même vision du monde que nous, si l'univers est statique, ou verrait la même succession d'événements, s'il évolue. Si c'est valide, c'est ce que nous savons de plus important sur l'univers. Car cela veut dire que notre position nous permet de tout savoir sur l'univers astronomique, en ce sens que nous n'apprendrions rien de plus sur son comportement à grande échelle en allant ailleurs sans en sortir. Si l'univers était statique, nous ne pourrions rien apprendre de plus en vivant à une autre époque, mais ceci ne serait pas vrai si l'univers évoluait. En fait, il est difficile de voir pourquoi on admettrait l'«universalité des lois physiques», s'il n'y a pas aussi universalité du monde physique, c'est-à-dire homogénéité de l'univers dans son ensemble. Il est satisfaisant de trouver des preuves de ce dernier

point, au moins en ce qui concerne l'espace. En est-il de même pour le temps? C'est un des sujets essentiels de notre étude.

On doit remarquer qu'à petite échelle — relativement — la répartition des galaxies est irrégulière. Beaucoup font partie d'amas qui en groupent depuis deux ou trois jusqu'à environ un millier; d'autres n'appartiennent à aucun amas en particulier. La Voie Lactée, par exemple, appartient au Groupe Local, qui a environ vingt membres. Les galaxies sont liées à leur amas par gravitation; elles ne peuvent s'éloigner l'une de l'autre dans l'expansion cosmique générale, tout comme la Terre ne peut s'éloigner du Soleil.

THÉORIES

L'explication la plus évidente de la récession apparente des galaxies est que nous sommes témoins de l'évolution à sens unique d'un univers dont les constantes ont été données une fois pour toutes. La théorie d'Einstein de la Relativité généralisée décrit adéquatement le comportement mécanique d'un tel système. On néglige, pour simplifier, les irrégularités locales du contenu: on considère l'univers égalisé. Les équations obtenues admettent une série de solutions. Celles qui s'accordent le mieux avec les observations impliquent toutes que la matière a passé par un état de densité énorme, infinie dans le modèle idéal, il y a τ années ou plutôt moins. On ne donne pas de signification dans la théorie à cet état singulier; on doit le considérer comme la création de l'univers, et c'est l'origine des temps pour un «âge de l'univers» unique.

Par contre, l'idée essentiellement la plus simple est de supposer qu'il n'y a rien qui permette de distinguer notre situation dans le temps d'aucune autre, comme il n'y a rien qui distingue notre situation dans l'espace. Nous devons supposer que l'univers est dans un état stationnaire. Il s'agit là de l'univers pris dans son ensemble, ou de l'univers régularisé.

La théorie de l'état statique de l'univers en expansion a été proposée par H. Bondi et T. Gold et par F. Hoyle en 1948. On en trouvera un exposé général dans le livre de Bondi [4]. L'auteur de cet article l'a déjà examinée dans ces colonnes [5]; il est inutile de répéter les arguments, mais nous aurons ici l'occasion de revenir sur la conclusion principale. Il faut réviser les données numériques des comptes rendus antérieurs selon la nouvelle échelle des distances de Baade.

Selon la théorie de l'état stationnaire, les galaxies actuelles se dispersent vraiment. Mais l'apparition continuelle de matière nouvelle dans l'univers cause la formation de nouvelles galaxies, ce qui maintient constante leur répartition. Dans tout grand espace, on trouve des galaxies de tout âge, mais en moyenne leur âge est de $\frac{1}{3}\tau$ années. Les mérites généraux de cette théorie sont d'éviter (*a*) le procédé douteux qui consiste à utiliser des lois invariables dans un univers changeant, (*b*) le paradoxe de l'existence d'étoiles plus vieilles que l'univers; (*c*) le dilemme où nous réduit la dépendance vis-à-vis d'un processus de création qui reste néanmoins en dehors du domaine de la théorie.

Quand nous observons une région de l'univers à 10^9 années-lumière, nous la voyons telle qu'elle était il y a 10^9 années. Selon les théories évolutionnistes, nous devrions alors voir des galaxies plus jeunes que la nôtre de 10^9 années, et de même pour les autres distances. Nous devrions donc pouvoir discerner des étapes encore plus anciennes de l'évolution lorsque la distance s'accroît. Mais ceci est évidemment impossible dans un univers stationnaire. Il suffirait de déceler un effet âge-distance pour prouver que l'univers n'est pas dans un état stationnaire.

De plus, la théorie stationnaire donne un modèle effectivement unique de l'univers. Elle implique une relation unique entre glissement vers le rouge et magnitude apparente des galaxies, alors que la théorie évolutionniste en permet toute une série. Donc il suffirait que l'une de ces prédictions soit en désaccord avec l'expérience pour en nécessiter l'abandon. Gold a insisté tout particulièrement sur cette vulnérabilité de la théorie.

Par suite, il vaut mieux examiner la position actuelle principalement sous l'angle de la théorie de l'état stationnaire, ne serait-ce que parce qu'elle se prête à l'étude des prédictions les plus cruciales.

TEST DES THÉORIES

Soit dans un espace classique ordinaire une répartition uniforme de galaxies, toutes du même âge, et s'éloignant toutes de nous avec des vitesses proportionnelles à leur distance. Les méthodes classiques permettent de calculer les courbes qui expriment les relations entre couples de grandeurs mesurables: par exemple, déplacements Doppler et brillance apparente. Aux cosmologies dont nous parlons correspondent des courbes qui diffèrent de celles-ci et diffèrent entre elles. Mais toutes ont la même tangente à l'origine. De plus, le domaine des observations actuelles correspond

à des portions des courbes où elles s'écartent peu de leur tangente. Donc, toutes les théories font les mêmes prévisions au premier ordre près, et pour distinguer entre elles, il faut pouvoir observer des effets d'ordre égal ou supérieur au second, à la limite de ce que peuvent donner les instruments. Mais comme les observations s'approchent de cette limite, elles sont sujettes à des effets d'instrument ou de sélection qui sont probablement au moins du même ordre.

En dépit du splendide travail des observateurs, il semble que pour ces raisons, tout effort de discrimination des théories qui repose sur des caractéristiques à grande échelle ne doive pas apporter de conclusion. Ceci semble être vrai aussi bien pour les observations optiques que pour l'exploration radioélectrique, développement extraordinairement intéressant. Cela ressort de la comparaison d'observations de sources différentes [6, 7]. On retrouve les mêmes limitations dans tout ce qui pourrait révéler un effet d'âge. Les galaxies individuelles évoluent certainement très vite pendant leur extrême jeunesse si bien que, même s'il y avait entre âge et distance la corrélation qu'impose la théorie évolutionniste, ses conséquences se révéleraient probablement en dehors du domaine observable avec les instruments actuels. On a longtemps cru que les couleurs des galaxies existantes pouvaient être un genre d'effet dû à leur âge, mais les preuves en sont maintenant infirmées [8]. Il nous faut donc nous rabattre sur des preuves moins directes.

SYNTHÈSE NUCLÉAIRE

L'abondance relative des différentes espèces nucléaires présentes sur la terre, dans les météorites, les rayons cosmiques primaires, les atmosphères solaires et stellaires et la matière interstellaire est en relation déterminée avec les propriétés des noyaux en cause. Ceci indique qu'elle doit résulter de processus physiques définis sur lesquels on devrait découvrir quelque chose. Mais on ne connaît dans l'univers qu'un endroit où peuvent se produire les réactions nucléaires, c'est dans les étoiles, et jusqu'à une date récente, on considérait que la synthèse nucléaire ne pouvait s'y poursuivre au-delà du numéro atomique 8. On considérait que l'abondance relative devait être partout la même dans le cosmos, compte tenu de l'effet des réactions stellaires sur les noyaux légers. Donc, tout semblait impliquer l'existence d'un processus cosmique de synthèse nucléaire. S'il ne peut y avoir de synthèse dans le cosmos tel que nous le connaissons, il faut nécessairement que les choses aient été très différentes autrefois. L'état initial à densité énorme de la théorie évolutionniste semblait réaliser les conditions nécessaires.

On a examiné très soigneusement les possibilités théoriques de synthèse nucléaire dans les étapes initiales d'un univers «en explosion», sans pouvoir expliquer la formation des noyaux lourds. G. Gamov, qui a fait une bonne partie du travail, déclare maintenant: «je veux bien admettre que la plus grande proportion des éléments lourds s'est formée plus tard dans l'intérieur chaud des étoiles» [9]. Il s'agit là d'un changement de position récent en astrophysique. Les brillantes recherches de E. E. Salpeter, F. Hoyle, W. A. Fowler, A. G. W. Cameron, et d'autres ont prouvé surabondamment qu'il pouvait y avoir synthèse nucléaire dans les étoiles après épuisement de l'hydrogène dans les régions centrales [10]. Une série de preuves astronomiques vient à l'appui des nouvelles idées, et tend à réfuter l'opinion prévalente auparavant sur l'abondance «cosmique» des éléments.

La synthèse des noyaux atomiques semble donc une question d'ordre intérieur dans les galaxies individuelles, dont on ne peut déduire aucun test des théories cosmologiques.

FORMATION DES GALAXIES

Selon la théorie évolutionniste, les galaxies se sont formées à partir d'un gaz qui remplissait tout l'espace à un certain moment de l'expansion de l'univers. Mais on n'a pas encore proposé de processus satisfaisant. Le type de turbulence du gaz qui intervient dans la théorie de Gamov [11] semble aussi inexplicable que les phénomènes qu'il doit éclaircir. D. Layzer [12] a indiqué certaines raisons de penser que, dans un univers en évolution, la résolution de la matière en corps condensés devrait se faire dans un ordre opposé à celui qu'on admet habituellement, c'est-à-dire le gaz, la poussière, les corps analogues aux planètes, les étoiles, les étoiles doubles, les agrégats, et finalement les galaxies et les amas galactiques. Des considérations générales viennent à l'appui de cette idée, mais on n'a pu encore lui donner des développements précis.

Par nature, la théorie stationnaire ne pose pas le problème de la formation initiale des galaxies. D. W. Sciama a souligné que son problème était d'expliquer la permanence de la population existante, avec toutes ses caractéristiques. Celles-ci sont la fonction de masse des galaxies, leur espacement moyen, la fonction de population des amas galactiques, la répartition des mouvements

irréguliers des galaxies individuelles, et la densité moyenne de la matière intergalactique. Sciama a suggéré une solution remarquable du problème [13], qui est en résumé, comme suit.

En général, une galaxie se déplace au sein du gaz intergalactique, par suite de sa vitesse irrégulière et non de l'expansion cosmique, que le gaz subit également. Le gaz qui tombe dans sa direction lorsqu'elle passe forme un sillage par derrière, comme dans une théorie bien connue d'agglomération gravitationnelle. La matière du sillage va tendre à se rassembler par suite de sa propre gravitation, et à former ainsi une galaxie «fille». Il y a des conditions critiques pour lesquelles la fille se sépare de sa mère au lieu de lui rester liée par gravitation. Si elles se séparent, le même phénomène se reproduit avec chaque galaxie. Si elles restent ensemble, le phénomène se reproduit avec le couple, et la production de nouveaux enfants amène la formation d'un amas galactique de plus en plus dense. Mais la tendance inhérente d'un amas est de perdre ses enfants par «évaporation»; cela et d'autres facteurs l'empêchent de croître indéfiniment. Les galaxies qui «s'évaporent» maintiennent la répartition des mouvements irréguliers du champ des galaxies. Sciama trouve qu'il existe un unique processus permanent de conservation propre de ce type; il n'y a pas de paramètre arbitraire et toutes ses caractéristiques dépendent en fin de compte des propriétés de l'atome d'hydrogène qui constitue l'essentiel de la matière intergalactique postulée dans la théorie. Nous trouvons ainsi explicitement que les caractéristiques de l'univers des galaxies dépend des propriétés fondamentales de la matière dont il est formé. Les caractéristiques calculées sont compatibles avec les observations. Cette théorie aux vastes implications n'a naturellement pas encore été développée dans tous ses détails mathématiques et Sciama a dû faire des approximations considérables à certaines étapes.

On ne peut encore considérer la théorie de Sciama comme établie. Elle est évidemment séduisante. Elle n'a rien d'arbitraire; simultanément, toutes les caractéristiques essentielles connues des galaxies réelles y jouent un rôle essentiel. Par contraste, toute autre théorie proposée, même si elle réussissait à expliquer certaines caractéristiques telles que les masses, nécessiterait apparemment une explication plus ou moins indépendante d'autres caractéristiques, comme les mouvements linéaires ou de rotation. De plus, la théorie permet de réfuter automatiquement une des critiques adressées à la cosmologie stationnaire: qu'elle impose la croissance indéfinie de n'importe quelle galaxie par agrégation de la matière intergalactique postulée. Dans la théorie de Sciama, une galaxie provoque effectivement l'agrégation continue de matière, mais c'est le processus même de formation de nouvelles galaxies, et non de croissance de cette galaxie.

MATIÈRE INTERGALACTIQUE

L'hypothèse de l'état de régime nécessite une modification de la loi de conservation de la matière. Mais la correction est bien inférieure à la précision avec laquelle on n'a jamais pu vérifier expérimentalement cette loi ou toute autre. En fait, elle impose la création continue de matière dans la proportion

$$\frac{\text{matière créée par an}}{\text{matière existante}} = \frac{3}{\tau} \simeq \frac{1}{2 \times 10^9} \quad \ldots . (1)$$

Ceci signifie que la matière existante quitte toute région de l'espace à cause de l'expansion cosmique, et qu'elle est remplacée par de la matière «nouvelle», en moyenne une fois en 2×10^9 années.

Ici et dans les deux sections suivantes, nous supposons qu'il y a création, et nous en déduisons les conséquences.[1]

La matière nouvelle sert à la fabrication de nouvelles galaxies. Il s'ensuit que:

(*a*) elle doit fournir principalement du gaz hydrogène,

(*b*) elle n'apparaît pas seulement au voisinage des galaxies existantes.

La densité théorique moyenne ρ dans l'univers stationnaire était, selon Hoyle:

$$\rho = (\tfrac{8}{3}\pi\gamma\tau^2)^{-1} \ (\gamma = \text{constante de gravitation}) \quad \ldots . (2)$$

et presque tous les autres modes de calcul redonnent cette même valeur. Avec la valeur:

$$\tau = 6 \times 10^9 \text{ années} \simeq 2 \times 10^{17} \text{ secondes} \quad .. (3)$$

nous trouvons:

$$\rho \simeq 5 \times 10^{-29} \text{ g cm}^{-3}$$
$$\simeq 3 \times 10^{-5} \text{ atome d'hydrogène par cm}^3 \quad .. (4)$$

On estime d'ordinaire que la quantité de matière galactique est d'un ordre de grandeur

[1] A cause de l'équivalence entre masse et énergie, la création continue nécessite une modification correspondante du premier principe de la thermodynamique. C'est selon celui-ci que la quantité constante de masse ou d'énergie contenue dans toute région est constante. La création continue implique la modification correspondante du deuxième principe, selon lequel la quantité d'entropie reste constante. Mais il n'est pas nécessaire de s'étendre là-dessus.

inférieur à cela (voir [14], où on utilise une échelle de distance quelque peu différente, ce qui ne change pas beaucoup le rapport des quantités). Ceci signifie alors que 90% environ de la matière sont intergalactiques. La valeur exacte du rapport n'a pas d'importance pour le moment; ce qui est important, c'est d'admettre que la matière intergalactique puisse être prépondérante.

Nous obtenons une représentation cohérente si nous supposons de plus que:

(*c*) la matière intergalactique est approximativement répartie uniformément dans l'espace;

(*d*) cette répartition n'est pas modifiée par la création de matière nouvelle, qui se produit de façon à peu près uniforme dans l'espace.

Ces déductions s'accordent aussi bien avec (*b*) qu'avec la théorie de Sciama. De plus, la prépondérance de la matière intergalactique implique que

(*e*) la création se produit où il y a le plus de matière.

Aussi, il n'est pas nécessaire de supposer que l'apparition de matière nouvelle est sans rapport avec la présence de matière existante. Il suffit d'exclure, semble-t-il, que cette dépendance de la matière existante puisse provoquer un accroissement de masse continuel de chaque galaxie.

ÉTAT PHYSIQUE DE LA MATIÈRE INTERGALACTIQUE

Tous les phénomènes physiques dans la matière intergalactique doivent être extrêmement lents, à cause de la longueur des libres parcours moyens. Mais nous avons vu que la matière est remplacée en 2×10^9 années, environ. Les phénomènes qui ne pourraient produire d'effet que s'ils duraient plus que cela ne sont pas significatifs. L'auteur n'a pas connaissance d'aucune théorie de l'état physique de la matière intergalactique qui tienne compte de ces considérations; cette section et la suivante reposent sur ses résultats préliminaires.

Le processus de création doit faire intervenir des particules fondamentales et produire de l'hydrogène. Par suite, il doit y avoir production de protons et d'électrons à quelque étape. Les atomes d'hydrogène neutres, qui ne sont pas des particules fondamentales ne peuvent apparaître qu'à la suite de capture mutuelle de protons et d'électrons.

Il est intéressant de remarquer qu'il n'y a aucune raison de supposer que l'univers dans son ensemble soit électriquement neutre, et cela vaudrait la peine d'examiner les conséquences de l'hypothèse inverse. Pour simplifier, nous supposerons qu'il y a autant de protons que d'électrons. Nous ne traiterons que le cas de l'univers uniformisé.

Soit $\mathcal{N}_p$, $\mathcal{N}_e$, $\mathcal{N}_H$ = le nombre de protons, électrons et atomes d'hydrogène dans l'état de régime par unité de volume, posons:

$$\mathcal{N} = \mathcal{N}_p + \mathcal{N}_H \qquad \ldots . (5)$$

Soit également $\alpha \mathcal{N}_p \mathcal{N}_e$ = le taux de création des atomes d'hydrogène par unité de volume, et n_p, n_e le taux de création des protons et des électrons par unité de volume.

Nous supposons:

$$\mathcal{N}_p = \mathcal{N}_e, \qquad n_p = n_e \qquad \ldots . (6)$$

Soit O une origine fixe dans le milieu, et considérons la matière comprise dans une sphère de centre O et de rayon r. Par suite de l'expansion cosmique, la matière s'écoule à travers la surface sphérique, avec la vitesse radiale r/τ.

Dans l'état de régime, la quantité totale de matière qui s'écoule est égale à la quantité totale créée à l'intérieur, et le nombre d'atomes d'hydrogène qui sort est égal au nombre produit à l'intérieur. Donc:

$$4\pi r^2 \mathcal{N} r/\tau = \tfrac{4}{3}\pi r^3 n_p \qquad \ldots . (7)$$

$$4\pi r^2 \mathcal{N}_H r/\tau = \tfrac{4}{3}\pi r^3 \alpha \mathcal{N}_p \mathcal{N}_e \qquad \ldots . (8)$$

De (7), nous tirons la vitesse de création, en accord avec (1):

$$n_p = 3\mathcal{N}/\tau \qquad \ldots . (9)$$

et (5), (6) et (8) nous donnent

$$\mathcal{N}_p^2 = \frac{3}{\alpha\tau}(\mathcal{N} - \mathcal{N}_p) \qquad \ldots . (10)$$

C'est la *formule de dissociation* de la matière.

Nous supposerons qu'il y a une température cinétique T. Nous négligeons l'ionisation par photons et par choc, ce qui semble raisonnable pour l'espace intergalactique. Alors α est le *coefficient de recombinaison* habituel de l'hydrogène et nous avons [14]

$$\alpha \simeq 3 \times 10^{-10}\, T^{-\frac{1}{2}}\ \mathrm{cm}^3\ \mathrm{sec}^{-1} \ldots . (11)$$

Avec $\tau = 2 \times 10^{17}$ sec, $\mathcal{N} = 3 \times 10^{-5}$ comme dans (3) et (4), nous tirons de (10) et (11) qu'il y a une ionisation de 90% aux environs de $T = 8 \times 10^4$ degrés, et de 10% au voisinage de $T = 12$ degrés.

Donc, dans une gamme étendue de température, il y a des quantités significatives d'hydrogène, neutre et ionisé. Tant que nous n'en saurons pas plus sur le phénomène de création, nous ne pouvons prédire la valeur de T.

POSSIBILITÉ D'OBSERVATION DE LA MATIÈRE INTERGALACTIQUE

Si des observations permettaient de mesurer la quantité de matière intergalactique, cela serait un progrès notable en cosmologie, car nous avons vu que c'était peut-être là le gros de la matière de l'univers, et les renseignements aideraient notablement au choix entre les théories. On trouvera certainement un moyen de l'étudier, mais malheureusement, on n'entrevoit pas de succès possible avec les moyens présents.

Apparemment, on ne peut pas déceler par des moyens optiques la présence d'hydrogène intergalactique, neutre ou ionisée, pour des raisons très voisines de celles qui s'opposent à la mesure de l'hydrogène interstellaire au sein d'une galaxie. On pourrait songer à utiliser la bande de haute fréquence de 21 cm, et le déplacement vers le rouge qui augmente avec la distance, mais vu sa raréfaction probable, l'hydrogène intergalactique n'a qu'une faible densité optique sous toutes les longueurs d'onde. L'absorption serait donc très faible. Quant à l'émission, elle ne produirait pas une «raie», mais une bande, d'intensité très faible, à peu près constante, s'étendant au-delà de 21 cm vers les grandes longueurs d'onde. Elle serait presque certainement trop faible pour qu'on l'observe.

On pourrait aussi songer à utiliser la faible conductibilité électrique communiquée à l'espace intergalactique par l'hydrogène ionisé, ou les effets produits dans le milieu par l'explosion d'une supernova dans une galaxie. Toute preuve observationnelle directe du processus de formation des galaxies de Sciama serait également une preuve de la présence d'hydrogène intergalactique.

Il faut rappeler que la raie de 21 cm révèle [15] l'existence d'une mince enveloppe d'hydrogène neutre autour des galaxies du nuage de Magellan, dont le diamètre est deux à trois fois celui des parties visibles. Ce n'est pas là une preuve positive de l'existence d'un milieu intergalactique, mais ce ne serait pas surprenant de trouver qu'il y a continuité entre ces enveloppes et un milieu général. A. E. Whitford [16] a fait remarquer qu'on pourrait peut-être révéler plus généralement la présence d'hydrogène neutre intergalactique dans le Groupe Local, non en expansion.

RELATIONS AVEC LA PHYSIQUE ATOMIQUE

L'auteur a montré [17] que la création continue n'est pas incompatible avec la relativité généralisée. F. A. E. Pirani [18] a franchi une étape de plus, en indiquant quel type de phénomène élémentaire hypothétique pourrait conduire au résultat cherché selon une interprétation formellement orthodoxe de cette théorie. De plus, du point de vue physique nucléaire, A. Salam [19] a fait remarquer que, puisqu'on a découvert une non-conservation de la parité dans les interactions nucléaires «faibles» dans un sens spécifique, le genre de non-conservation nécessité par la création continue pourrait se retrouver dans les interactions dans l'ordre de «faiblesse» suivant. Ainsi, le concept de création continue ne s'oppose pas à la physique théorique contemporaine.

En fait, il a suscité une nouvelle ligne de recherches. Car la «matière», constituée par des noyaux chargés positivement et des électrons négatifs, et l'«anti-matière», constituée de noyaux négatifs et d'électrons positifs, relèvent d'un traitement symétrique dans les théories contemporaines. En particulier, elles ont toutes deux des propriétés d'inertie et de gravitation théoriquement identiques. D'une façon générale, nous pouvons nous attendre à ce que tout phénomène de création produise des quantités statistiquement égales de matière et d'anti-matière, et qu'il y en ait des quantités égales dans l'univers dans son ensemble. D'autre part, il ne doit y en avoir qu'une espèce dans une galaxie déterminée. G. R. Burbidge et F. Hoyle [20] ont montré qu'il ne peut s'y trouver au maximum qu'environ une part sur 10^7 de l'espèce opposée. On a été jusqu'à dire que certaines collisions particulièrement énergiques observées dans certaines parties de l'univers étaient dues à la rencontre de galaxies de compositions opposées. Nous aurions alors à résoudre un problème formidable: comment la matière et l'anti-matière, mélangées dans l'espace, peuvent-elles se séparer pour produire des galaxies?

Nous avons déjà remarqué que si de la nouvelle matière apparaît, ce doit être au voisinage de la matière existante. Le problème ne surgirait pas si une espèce de matière n'engendrait que son semblable. Donc, si l'univers entier contenait des quantités comparables des deux espèces, nous en déduirions cependant que de grandes portions n'en contiennent qu'une. Ou bien il pourrait «arriver» que l'univers soit composé presque entièrement de ce que nous appelons matière, et que l'anti-matière ne soit partout qu'une rareté.

Ces questions ont un intérêt physique général indépendant des cosmologies particulières, et reviennent sous une forme analogue dans toute cosmologie. La découverte au laboratoire de l'anti-proton, en 1955, les a remises en vedette. Une autre observation de laboratoire, celle du neutrino en 1956, a aussi stimulé les spéculations

cosmologiques [21]. Car les neutrinos pourraient envahir l'univers en grand nombre et contribuer au champ de gravitation général ou à d'autres, sans produire d'autre effet observable.

CONCLUSIONS

La loi de Hubble du déplacement vers le rouge, l'homogénéité de l'univers, l'existence de la caractéristique de temps de l'univers τ, la relation entre constante de gravitation, caractéristique de temps et densité moyenne (équation (2), qui résulte de presque toutes les interprétations, avec seulement de petites différences dans le facteur numérique), voilà des découvertes de grande importance et probablement durables. Au-delà, l'absence de conclusion de notre enquête pourrait nous décevoir, si on ne pouvait apercevoir une signification dans cette impossibilité apparente de conclure.

La théorie de l'état stationnaire a maintenant neuf années d'existence. En dépit de sa vulnérabilité particulière, on n'a pu lui opposer d'observation dont l'interprétation soit absolument certaine. L'observation qu'on lui oppose le plus souvent, celle de l'effet Stebbins-Whitford, a elle-même été réfutée [8]. Il n'y a plus d'obstacle du côté synthèse nucléaire, et la théorie évolutionniste a ainsi perdu un de ses principaux arguments. La solution du problème de la formation des galaxies semble à la portée de la cosmologie stationnaire, alors que les autres théories n'avancent guère dans cette direction.

Si l'univers évoluait à la vitesse déduite de la théorie évolutionniste, et avait en conséquence à peu près l'âge de la terre, nous devrions nous attendre à trouver beaucoup de résultats en astrophysique qui en dépendent manifestement. En fait, rien ne l'exige dans l'astrophysique contemporaine. Mais si l'univers est statique, l'astrophysique doit pouvoir progresser sans avoir besoin de faire intervenir des conditions changeantes. C'est exactement ce qui se passe; mais dans ce cas il doit être bien plus difficile pour l'astrophysique de tirer des conclusions sur les conditions cosmiques que si ces conditions changeaient.

Pour toutes ces raisons, l'absence présente de preuves concluantes n'a probablement rien d'alarmant pour la cosmologie stationnaire. Elle est plutôt en sa faveur.

En ce qui concerne les observations, il faut se rappeler qu'il n'existe qu'un petit nombre d'instruments qui permettent l'étude de l'univers dans son ensemble et que la radio-astronomie en est encore à ses débuts. Il semble qu'il suffirait de pouvoir observer encore un peu plus loin pour décider de questions de première importance. Mais pour dire quelle extension est réellement nécessaire, il faut résoudre des problèmes statiques difficiles. Espérons que quelque découverte inattendue ouvrira la voie pour l'étude de toute matière intergalactique qui puisse exister.

Si nous admettons qu'il y a eu création au moins une fois, il semble naturel qu'elle se reproduise plus d'une fois. En fait, l'idée de création continue mérite une étude, même sans référence à une cosmologie particulière. Les questions effleurées dans la section précédente montrent que les découvertes de physique au laboratoire soulèvent explicitement des problèmes cosmologiques, en particulier ceux de la création de la matière. Elles montrent aussi l'intervention possible de facteurs qui ne ressortissent pas seulement aux recherches astronomiques, et c'est peut-être la cause de l'absence de progrès en cosmologie astronomique. Il faudra peut-être attendre de nouveaux progrès en physique.

BIBLIOGRAPHIE

[1] LILLEY, A. E. et MCLAIN, E. F. *Astrophys. J.*, **123**, 172, 1956.
[2] HEESCHEN, D. S. *Ibid.*, **124**, 660, 1956; *Astron. J.*, **62**, 18, 1957.
[3] HUMASON, M. L., MAYALL, N. U. et SANDAGE, A. *Astron. J.*, **61**, 97, 1956.
[4] BONDI, H. «Cosmology». Cambridge University Press, Londres. 1952.
[5] MCCREA, W. H. *Endeavour*, **9**, 3, 1950.
[6] RYLE, M. et SCHEUER, P. A. G. *Proc. roy. Soc., A*, **230**, 448, 1955. (Voir aussi *Sci. Amer.*, **195**, No. 6, 10, 1956.)
[7] MILLS, B. Y. *Sci. Amer.*, **195**, No. 6, 8, 1956.
[8] WHITFORD, A. E. *Sky and Telesc.*, **16**, 222, 1957.
[9] GAMOV, G. *Sci. Amer.*, **195**, No. 3, 154, 1956.
[10] CAMERON, A. G. W. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **69**, 201, 1957.
[11] GAMOV, G. *Math.-fys. Medd., Copenhague*, **27**, No. 10, 1953.
[12] LAYZER, D. *Astron. J.*, **59**, 170, 1954.
[13] SCIAMA, D. W. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **155**, 15, 1955.
[14] ALLEN, C. W. «Astrophysical Quantities». Athlone Press, Londres. 1955.
[15] KERR, F. J., HINDMAN, J. V. et ROBINSON, B. J. *Aust. J. Phys.*, **7**, 297, 1954.
[16] WHITFORD, A. E. *Astron. J.*, **59**, 194, 1954.
[17] MCCREA, W. H. *Proc. roy. Soc., A.*, **206**, 562, 1951.
[18] PIRANI, F. A. E. *Ibid.*, **228**, 455, 1955.
[19] SALAM, A. «Imperial College Inaugural Lectures», Londres. 1957.
[20] BURBIDGE, G. R. et HOYLE, F. *Astron. J.*, **62**, 9, 1957.
[21] REINES, F. et COWAN, C. L. *Nature, Lond.*, **178**, 446, 1956.

Les virus des insectes et leur structure

par KENNETH M. SMITH et ROBLEY C. WILLIAMS

Les recherches sur les virus ont très naturellement porté surtout sur les formes qui provoquent des maladies de l'homme ou des êtres vivants, plantes ou animaux, dont il vit. Mais de telles considérations pratiques ne sont pas nécessairement importantes en recherche fondamentale; ainsi certains virus d'insectes, peu étudiés jusqu'à présent, semblent offrir des possibilités intéressantes. Un virus qui infecte les larves de *Tipula paludosa* montre des propriétés particulièrement remarquables et une ingénieuse technique d'ombrage a permis de voir que ses particules sont des icosaèdres; c'est le premier virus dont on a pu démontrer la forme géométrique des particules.

On peut assez facilement classer les buts des recherches sur les virus et les maladies à virus en humanitaires, économiques ou fondamentaux. Dans le premier cas on considère les maladies à virus de l'homme et leur traitement, tandis que le second but implique l'étude des maladies des plantes et des animaux supérieurs et des moyens de réduire les pertes qui en résultent. Les virus des insectes n'ont pas beaucoup attiré l'attention des chercheurs dont le but est, soit humanitaire, soit économique; on ne les connaît donc pas bien à ce point de vue. Mais le troisième but — l'étude fondamentale des virus — s'intéresse seulement à leur constitution et à la façon dont ils se multiplient dans les cellules vivantes. Ici tous les types de virus sont aussi intéressants s'ils nous promettent de fournir une information significative. Pour une telle étude, les virus d'insectes peuvent être utiles et certaines de leurs propriétés connues nous conduisent à penser qu'on a beaucoup tardé à reconnaître leur importance en recherche fondamentale.

Bien que les virus attaquent presque toutes les catégories connues d'organismes, il semble y avoir quelques exceptions. Par exemple, dans le règne végétal, on ne connaît aucun virus infectant les fougères ou les champignons vrais. Dans le monde des Insectes, on connaît actuellement seulement trois ordres susceptibles d'infection virale. Cette limitation apparente de la gamme des hôtes peut refléter en partie notre manque d'information, mais il n'en reste pas moins vrai qu'on n'a trouvé des virus que chez les Lépidoptères (diurnes et nocturnes), les Hyménoptères (fourmis, abeilles et guêpes) et les Diptères (Mouches). On n'a signalé aucune maladie à virus pour des ordres à nombreux représentants comme les Hémiptères (pucerons, punaises), les Orthoptères (sauterelles et criquets) et les Coléoptères qui comptent quelque quarante mille espèces.

Pour des raisons pratiques, il peut être incontestablement important de découvrir des maladies à virus dans certains des ordres d'Insectes que l'on croit actuellement réfractaires. On étudie depuis quelque temps l'induction volontaire d'épidémies à virus chez les Insectes dans l'espoir de s'en servir comme moyen de lutte biologique contre les pullulations de certaines espèces. De tels essais demandent d'abord la récolte de grandes quantités d'un virus donné, pour répandre le matériel infectieux sur des champs d'expérience où la pullulation de l'insecte visé se trouve à un stade sensible. On a parfois noté des succès considérables dans de tels essais [1], avec une mortalité énorme des insectes et aucun dommage pour les récoltes. Mais un des inconvénients de l'emploi généralisé de cette forme de lutte est l'existence de plusieurs catégories d'insectes nuisibles comme les pucerons et les criquets qui ne paraissent sensibles à aucun virus dans la nature.

DIFFÉRENTS TYPES DE VIRUS D'INSECTES

Les symptômes offerts par les insectes atteints de maladies à virus étant assez variables et non spécifiques, on a basé la classification sur des caractères morphologiques et cytologiques. Les caractères utilisés se rapportent soit à l'aspect des particules de virus elles-mêmes vues au microscope électronique, soit à l'aspect et à la localisation intracellulaire de certaines inclusions associées aux particules de virus. Sur cette dernière base, on peut reconnaître maintenant trois groupes de virus d'insectes, bien que l'on divise ordinairement l'un de ces groupes en deux sous-groupes. Les particules de virus associées à chaque groupe ou sous-groupe semblent avoir une taille et une forme caractéristiques. Dans certains cas où les particules ont pu être purifiées et analysées ce sont des nucléoprotéines avec un acide nucléique de type

désoxy [2]. Les types de maladies produites par les virus d'un groupe paraissent dépendre de l'endroit où le virus se multiplie dans le corps de l'hôte. Bien que l'on connaisse des cas de virus extraits de nymphes d'insectes ou même d'adultes [3], on pense généralement que seules les formes larvaires sont susceptibles de transmettre les maladies à virus. Dans ces larves beaucoup d'organes et de types cellulaires sont susceptibles d'infection par certains virus de l'un des trois groupes. Les cellules les plus communément envahies sont celles de la peau, des trachées, du corps gras, de l'intestin moyen et les cellules circulantes du sang.

Polyédroses. Le plus grand des trois groupes de virus d'insectes reconnus jusqu'ici réunit ceux qui provoquent les maladies à polyèdres ou polyédroses. Ce nom dérive de la présence de grandes quantités de corps de forme polyédrique dans certains tissus de l'hôte infecté. Dans un petit nombre de cas on a montré que ces corps étaient cristallins par examen aux rayons X [4] et par la microscopie électronique [5]. Les cristaux polyédriques n'ont ni une taille ni une forme homogène, mais leur aspect est suffisamment caractéristique et ils sont assez gros pour qu'on puisse les identifier au microscope optique. Pendant longtemps la nature de ces corps polyédriques a donné lieu à des controverses et l'on a pensé quelque temps qu'ils représentaient une sorte de microorganisme responsable de la maladie. On sait maintenant que ce sont des cristaux de protéines dans lesquels se trouvent incluses plusieurs centaines de particules de virus. Nous parlerons plus tard des vrais cristaux de virus (virus cristallisés) et il faut noter que les corps polyédriques, bien que cristallins, contiennent des particules de virus seulement à titre de constituant mineur.

Ce groupe de virus à polyèdres se divise en deux sous-groupes produisant chacun des polyèdres à propriétés caractéristiques et à localisation unique dans les cellules infectées. Les virus à polyèdres nucléaires attaquent habituellement les cellules de la peau, des trachées, du corps gras ou du sang et, comme leur nom l'indique, on ne les trouve que dans les noyaux des cellules infectées. Quand ces cellules deviennent très infectées elles éclatent et libèrent les polyèdres dans le sang. On obtient facilement ces polyèdres libérés à l'état pur par sédimentation et décantation d'une suspension aqueuse du contenu du corps des insectes affectés. En traitant les polyèdres avec un alcali faible, la protéine se dissout en laissant une sorte de membrane externe à l'intérieur de laquelle se trouvent les particules de virus sous forme de bâtonnets. Elles y sont, soit à l'état isolé, soit en faisceaux (figure 1). Il est possible d'obtenir des particules en bâtonnets très pures qui inoculées à des larves saines se montrent très infectieuses [6].

On a trouvé les polyédroses cytoplasmiques uniquement dans les cellules du tube digestif, habituellement dans l'intestin moyen, où elles semblent ne se développer que dans le cytoplasme des cellules affectées. On peut extraire les polyèdres des cellules et les purifier; après cette opération, le matériel purifié se montre infectieux [7]. L'identification morphologique de la particule infectieuse élémentaire n'est cependant pas aussi bien tranchée que dans le cas des polyédroses nucléaires. Le traitement des corps polyédriques avec une base les dissout partiellement en respectant une sorte de matrice en nid d'abeilles, avec des trous ronds et de nombreuses petites particules sphériques [8]. Ces particules n'ayant pas été testées pour leur caractère infectieux, on ne peut dire avec assurance si elles représentent l'agent infectieux élémentaire. Le microscope électronique révèle dans les coupes minces de polyèdres cytoplasmiques la présence de petites particules approximativement circulaires (figure 2), probablement de même nature que celles extraites par l'alcali faible [9]. Vu que les coupes de polyèdres nucléaires montrent des particules caractéristiques dont la nature virale est connue, on peut penser, mais seulement par analogie, que les petits objets circulaires visibles sur les coupes de polyèdres cytoplasmiques sont les particules de virus.

Les deux types de maladies à polyèdres diffèrent par leurs symptômes, particulièrement chez les larves de Lépidoptères. Les virus à polyèdres nucléaires attaquent ordinairement la peau, et la rendent extrêmement mince et fragile; elle se rompt alors au moindre contact et libère le contenu liquéfié du corps principalement formé de cristaux polyédriques. Les chenilles mortes d'une polyédrose nucléaire ont souvent une position caractéristique, suspendues par une ou deux paires de pattes abdominales. Les chenilles infectées de la «Nonne» (*Lymantria monacha*) tendent à migrer vers le sommet des sapins (leur habitat ordinaire) où elles restent suspendues la tête en bas. Ce comportement assez particulier à donné naissance au terme allemand de *Wipfelkrankheit* ou maladie «du sommet des arbres». Dans les polyédroses cytoplasmiques la peau n'est pas attaquée. La chenille meurt intacte et tend à se dessécher plutôt qu'à se liquéfier. Dans

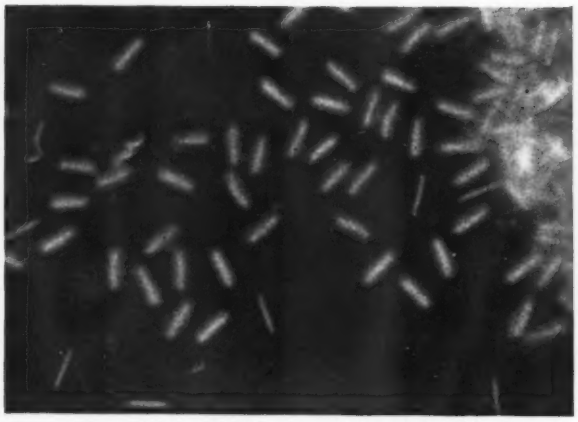


FIGURE 1 – *Corps polyédriques nucléaires de* Bombyx mori, *dissous pour mettre en évidence les particules du virus. Beaucoup sont encore enfermés dans une membrane.* (× 20 000)

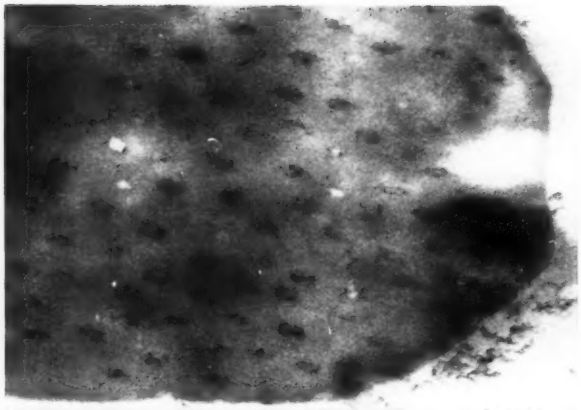


FIGURE 2 – *Coupe d'un corps polyédrique cytoplasmique de* Arctia caja. *Les objets circulaires contenus à l'intérieur sont présumés être des particules de virus coupées.* (× 85 000)

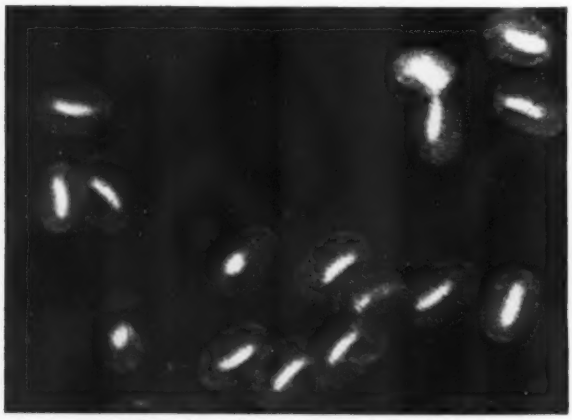


FIGURE 3 – *«Granules» d'une granulose de* Euplexia leucipera *après traitement par un alcali. Noter les capsules centrales et les granules aplatis. La particule de virus se trouve dans la capsule centrale.* (× 26 000)

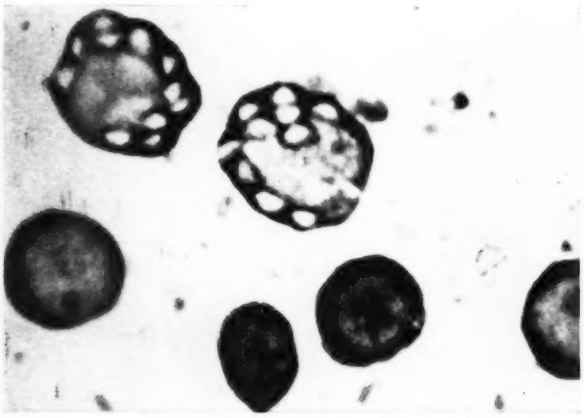


FIGURE 4 – *Cellules sanguines de* T. paludosa *infectées par une polyédrose nucléaire. Les deux cellules du haut contiennent beaucoup de polyèdres. Microscopie optique.* (× 1 500)

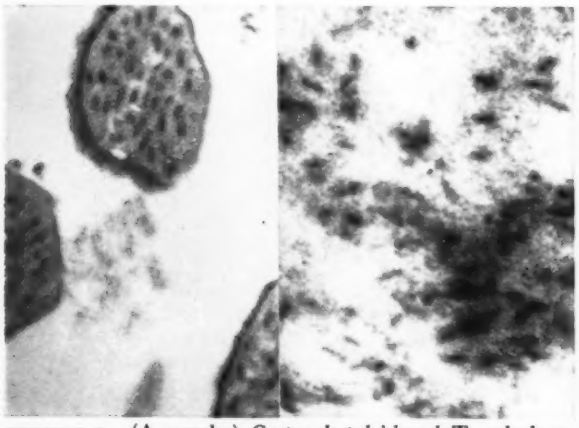


FIGURE 5 – (A gauche) *Coupes de polyèdres de* T. paludosa, *contenant des particules en bâtonnets.* (× 24 000) (A droite) *Portion de noyau montrant des particules semblables, non incluses dans un polyèdre.* (× 30 000)

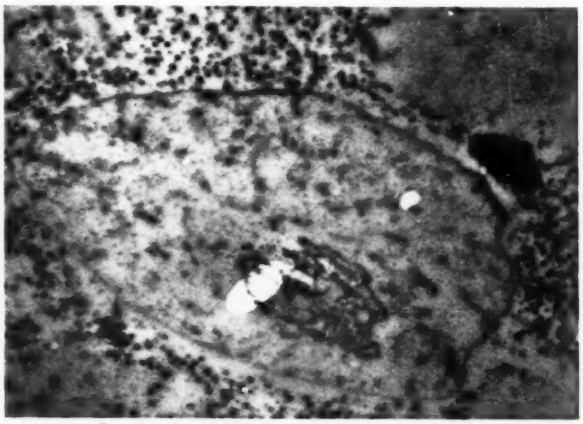


FIGURE 6 – *Partie de cellule de corps gras infectée par le virus iridescent de la Tipule (TIV). Les particules de virus très sombres se trouvent seulement dans le cytoplasme.* (× 8 500)

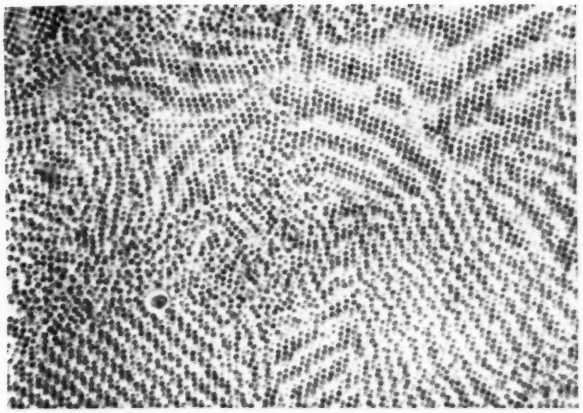


FIGURE 7 – *Agglomérat de TIV coupé pour montrer l'existence d'une disposition polycristalline.* (× 10 000)

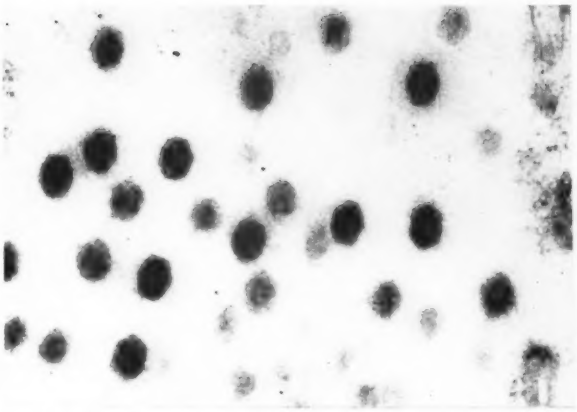


FIGURE 8 – *Coupes de particules de TIV, montrant une structure interne et de nombreuses formes hexagonales.* (× 55 000)

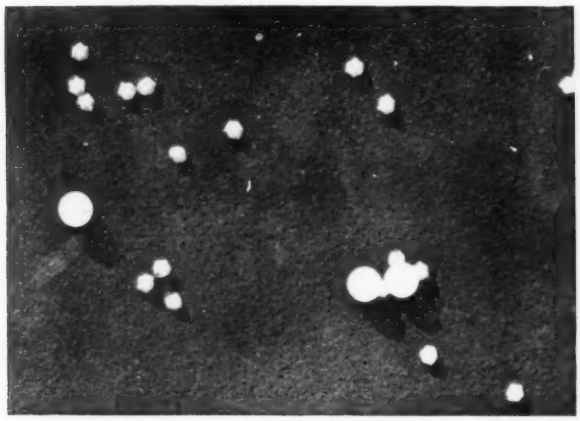


FIGURE 9 – *Particules de TIV séchées à l'air et ombrées. Noter les contours à six côtés. Les objets sphériques de référence sont des particules de latex polystyrène.* (× 23 000)

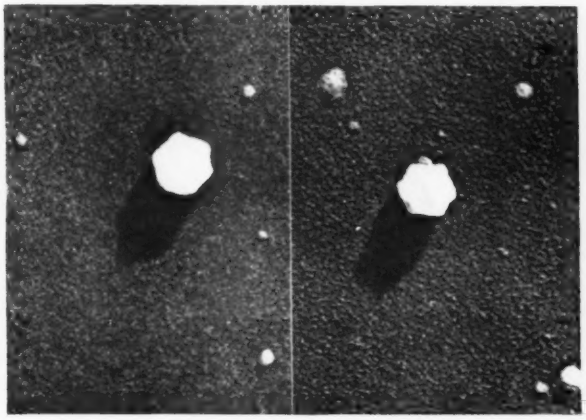


FIGURE 10 – *Deux particules de TIV préparées par congélation-dessiccation, montrant les deux formes distinctes d'ombres que l'on peut obtenir: à quatre côtés et pointue, à cinq côtés et obtuse.* (× 67 000)

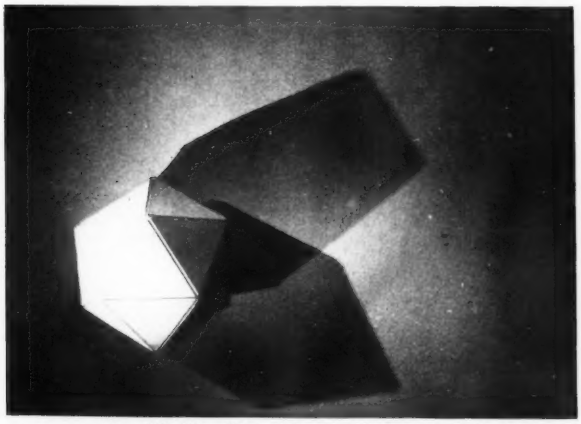


FIGURE 11 – *Modèle d'icosaèdre doublement ombré. Noter la forme des deux ombres qui ne peuvent être données simultanément que par un icosaèdre dans cette orientation.*

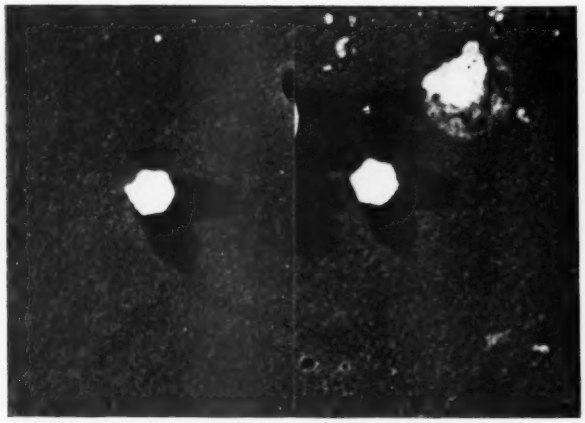


FIGURE 12 – *Deux particules de TIV, doublement ombrées. La similitude entre les formes de ces ombres et celles du modèle (figure 11) est évidente.* (× 55 000)

FIGURE 13 – *Deux larves de* T. paludosa *gravement infectées par le TIV. La couleur brune normale est devenue gris-bleuâtre.*

FIGURE 14 – *Larve de* T. paludosa, *infectée par le TIV, disséquée pour montrer la couleur bleue du corps gras hypertrophié.*

FIGURE 15 – *Flacon de TIV purifié et maintenu au froid. Noter qu'une couche de cristallites colorés s'est formée au fond.*

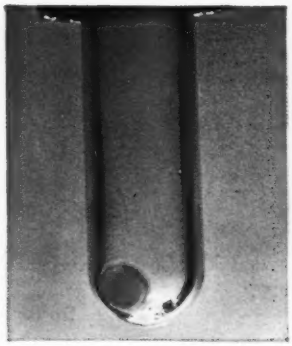


FIGURE 16 – *Culot de centrifugation de TIV purifié photographié en lumière transmise. Il apparaît uniformément orange.*

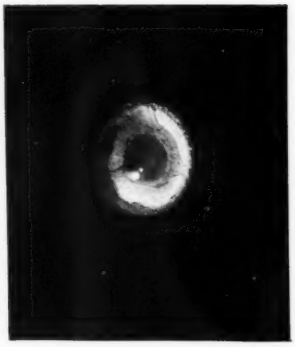


FIGURE 17 – *Culot de centrifugation de TIV qu'on a laissé se réhydrater et qui a été ensuite photographié en lumière blanche réfléchie. L'iridescence est évidente.*

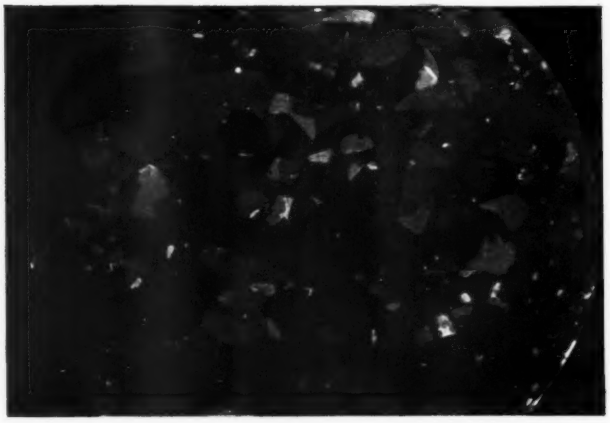


FIGURE 18 – *Surface couverte de cristaux de TIV photographiés en lumière blanche réfléchie.* (× 10)

certains cas, vers la fin de la maladie les cellules de l'intestin sont remplies de polyèdres et finalement éclatent en libérant leur contenu qui est ensuite évacué avec les excréments. Il est souvent possible de voir les polyèdres à travers la peau sous forme de taches blanches.

Granuloses. Un second groupe de virus d'insectes est responsable des maladies connues sous le nom de granuloses, du fait que les particules élémentaires de virus paraissent enfermées dans une capsule ou granule. On ne trouve aucun corps polyédrique dans les cellules atteintes de granulose. Les particules encapsulées sont bien les agents des granuloses puisque les suspensions de granules purifiés se montrent très infectieuses [10]. Par traitement des granules à l'alcali faible on découvre une structure assez complexe. Il existe une capsule externe ellipsoïdale que l'on peut séparer d'une capsule interne de même forme (figure 3). On trouve enfin au centre une particule en bâtonnet qui possède apparemment une membrane limitante [11]. On ne sait pas si la particule interne (avec sa membrane propre) est infectieuse.

On n'a jusqu'ici trouvé ce groupe de virus responsable des granuloses que chez les chenilles de Lépidoptères. L'examen de coupes minces de tissus d'insectes infectés montre des corps semblables en taille et en forme à des granules sectionnés et ces observations nous fournissent une indication sur les lieux probables de multiplication du virus [12]. Ce sont principalement la peau et le corps gras. L'évolution de la maladie rappelle celle des polyédroses nucléaires en ce que le contenu du corps se liquéfie et se trouve facilement libéré par rupture de la peau.

Les virus des granuloses peuvent avoir une importance pratique car certains de leurs hôtes — comme les chenilles du papillon blanc du chou — sont des insectes d'importance économique. Comme on peut obtenir des suspensions très infectieuses de virus en grande quantité (jusqu'à quatre litres et demi à partir de cinq larves infectées) il est probable que l'on puisse poursuivre la lutte biologique contre les pullulations de ces Lépidoptères en répandant ces suspensions sur les champs attaqués.

Virus non encapsulés. On peut caractériser un troisième groupe de maladies à virus d'insectes par la présence de particules infectieuses apparemment semblables à celles que l'on trouve dans les maladies à virus des plantes et des animaux supérieurs. Les particules de virus ne sont associées avec aucune inclusion cristalline, ou capsule, mais se trouvent libres dans les cellules du tissu attaqué. Il en existe seulement deux exemples bien connus [13, 14], tous les deux chez des larves de Diptères. On peut extraire les particules des cellules et les purifier; dans les deux cas les particules purifiées approximativement sphériques se sont montrées infectieuses. Un de ces virus non encapsulés, appelé ici virus irisé de la Tipule (TIV) présente un intérêt considérable et nous y reviendrons avec quelque détail dans la suite.

DISSÉMINATION DES VIRUS D'INSECTES

Beaucoup de virus végétaux et certains virus des animaux supérieurs ne se transmettent d'hôte à hôte que par des arthropodes vecteurs comme les pucerons, les moustiques et les acariens. Les virus d'insectes sont principalement, sinon totalement, propagés des larves malades aux saines par l'ingestion de nourriture infectée. L'efficacité de la dissémination est grandement accrue par le fait que les particules de virus sont souvent «empaquetées pour la livraison», c'est-à-dire contenues dans des granules ou des corps polyédriques où elles peuvent conserver plusieurs années leur caractère infectieux. Par contre, les particules de virus à polyèdres nucléaires sont très labiles, une fois enlevée leur matrice protéique. L'évolution des polyédroses nucléaires est aussi favorable à la dissémination de la maladie; la peau de l'insecte malade se rompt au moment de la mort et le contenu liquéfié du corps se trouve répandu par la pluie sur les plantes mangées par les larves saines. De plus, dans certains cas, les larves saines sont fortement attirées par les cadavres en liquéfaction dont elles se nourrissent, ce qui accroît l'effet dévastateur.

L'évolution des polyédroses cytoplasmiques n'est pas favorable à la dissémination de ces maladies. Les chenilles infectées se dessèchent plutôt qu'elles ne se liquéfient et conservent intactes au moment de la mort les structures de leur corps. Il est possible que ce soit la raison pour laquelle ces maladies se répandent plus lentement que les polyédroses nucléaires. Le mode de dispersion des polyédroses cytoplasmiques est probablement l'ingestion d'excreta contaminés, dans les derniers stades de la maladie, par les polyèdres libérés dans la lumière de l'intestin.

On possède très peu d'information sur la façon dont se propagent les virus non encapsulés mais on peut supposer qu'ils sont ingérés d'une manière quelconque avec la nourriture. Il est un peu difficile de se représenter comment cela s'accomplit pour le TIV car son hôte spécifique, la larve de *Tipula paludosa* habite le sol. Il y a sans doute

dans ce cas aussi contamination de la nourriture, mais on doit peut-être attribuer la rareté relative de cette maladie à la difficulté de sa dissémination.

On a de bonnes raisons de penser que certains virus d'insectes se transmettent par l'œuf aux générations successives. On trouve des exemples de ce type de passage pour un virus à polyèdres cytoplasmique de *Arctia caja* (Ecaille martre) [15], et pour une granulose qui affecte les chenilles de *Pieris brassicae* (Papillon blanc du chou) [16]. Ce mode de dissémination de la maladie a une importance pratique dans les cas où l'on entreprend la lutte biologique contre les pullulations d'insectes, puisque le passage du virus à travers l'œuf nous permet d'infecter les générations futures, ce qui n'est pas possible avec les insecticides. Le phénomène de la transmission d'un virus à la descendance des insectes infectés nous amène à la considération de la «latence» dans les virus d'insectes.

VIRUS LATENTS

On connaît beaucoup d'exemples de virus qui peuvent demeurer à l'état de repos dans leurs hôtes pendant de longues périodes, passant même plusieurs générations successives, et qui soudainement provoquent des modifications pathologiques en l'absence de toute nouvelle inoculation. A leur stade de repos ces virus sont dits «latents», terme vague qui traduit notre ignorance des phénomènes réels. On trouve la latence dans les maladies à virus des bactéries, des plantes (où elle est très commune), des animaux supérieurs et des insectes. Elle est fréquente dans les maladies à virus des insectes où, dans certaines populations, presque tous les individus paraissent porteurs d'un virus latent. Il est inutile de dire que la présence fréquente de ces virus latents rend souvent les essais biologiques précis impossibles.

Il est parfois possible de réveiller la virulence d'un virus latent par des moyens artificiels, comme de mauvaises conditions d'élevage ou l'adjonction de produits chimiques à la nourriture. Une des méthodes les plus efficaces est d'introduire dans l'insecte un virus qui peut être différent de celui qui y existe déjà à l'état latent. Il arrive fréquemment à la suite d'inoculations croisées qu'un insecte fasse une maladie à virus différente de celle qu'on lui a inoculée. L'inoculation d'un virus à polyèdres nucléaire provoque souvent une polyédrose cytoplasmique, mais, assez singulièrement, l'inverse ne semble jamais se produire. Une fois le virus latent transformé en virus virulent, on peut le transmettre d'un insecte à un autre. Cette circonstance peut avoir des applications pratiques dans certains cas; une expérience faite sur les larves de la Cheimatobie hiémale (*Operophtera brumata*) nous en fournit un exemple [16]. Après une recherche infructueuse d'un virus affectant naturellement cette espèce, on a inoculé quelques larves apparemment saines avec un virus à polyèdres nucléaires tiré d'une chenille de *Vanessa cardui*. Toutes les larves inoculées sont mortes, mais ont succombé à une polyédrose cytoplasmique. Une fois ce virus passé à la forme virulente, on a pu le transmettre avec succès à de nombreuses larves de la Cheimatobie hiémale qui ont permis d'obtenir une réserve de suspension de virus utilisable pour des essais de lutte biologique.

DEUX VIRUS D'INSECTES INTÉRESSANTS

Bien que l'on connaisse jusqu'ici très peu de maladies à virus attaquant les larves de Diptères, deux de ceux-ci présentent des particules d'un tel intérêt qu'elles méritent une description détaillée. Ces deux maladies affectent les larves de *Tipula paludosa* et peuvent se trouver simultanément dans le même insecte. L'un des virus provoque une maladie à polyèdres d'un type inhabituel du fait que les polyèdres associés ne sont pas solubles dans les réactifs usuels [17]. Les larves atteintes montrent une pâleur caractéristique apparemment due à un nombre anormalement élevé de cellules sanguines à noyaux remplis de polyèdres. Le virus semble se multiplier dans les noyaux hypertrophiés des cellules sanguines; au cours de la maladie les polyèdres commencent par s'accumuler à la périphérie du noyau, à proximité directe de la membrane nucléaire (figure 4).

Comme on l'a déjà dit, les polyèdres nucléaires se dissolvent ordinairement dans les alcalis faibles en laissant une fine membrane qui contient de nombreux bâtonnets de virus. Le comportement des polyèdres nucléaires de *T. paludosa* dans les différents réactifs est singulier et les différencie des autres types connus de polyèdres nucléaires. Ils sont résistants à la trypsine et aux acides et bases faibles et dilués. Cependant dans la soude molaire ils s'allongent de plusieurs fois leur longueur normale en prenant d'abord la forme de fuseaux biconvexes, puis de croissants ou de vers. Jusqu'à environ trois fois leur longueur normale cet allongement est encore réversible et ils peuvent revenir à leur forme et taille originelles dans l'eau à *p*H 5–8. L'allongement et le retour à la longueur normale (qui se font suivant le même axe) peuvent se répéter indéfiniment et aussi rapidement que l'on peut alterner les solutions nécessaires. La non dissolution des corps polyédriques rend

impossible la vision au microscope électronique de toute particule de virus qui y serait incluse. Il est nécessaire d'examiner des coupes minces de polyèdres pour voir ce qu'il y a à l'intérieur. Au microscope électronique ces coupes révèlent la présence de particules en forme de baguettes que l'on présume être les particules élémentaires de virus. La figure 5 montre quelques coupes de ce type, certaines apparemment longitudinales, d'autres transversales.

Les larves de *T. paludosa* ramassées dans la nature hébergent parfois une maladie à virus facilement reconnaissable à la modification d'aspect qu'elle provoque dans le corps de l'hôte [14, 18, 19]. Alors que la couleur normale de ces larves est marron foncé, la couleur des malades est d'un bleu indigo opalescent (figure 13). L'examen microscopique à faible grossissement montre que la couleur est particulièrement intense dans les lobes du corps gras hypertrophié (figure 14); quand la maladie approche de sa fin la couleur est moins intense, et dispersée d'une manière plus générale dans tout le corps. L'examen au microscope électronique de coupes de corps gras de larve malade montre que les cellules sont remplies, mais seulement dans le cytoplasme, de particules très foncées (figure 6) que l'on croit être les particules élémentaires de virus. Il n'y a aucune indication de capsule autour des particules, ni aucun signe du développement d'un corps polyédrique, comme on le verrait dans une polyédrose cytoplasmique.

On peut facilement extraire et purifier les particules élémentaires à partir des insectes malades. Aussitôt après la mort on place simplement les cadavres dans l'eau où on les laisse quelques jours pour laver les particules. Une brève centrifugation à faible vitesse est suffisante pour retirer le matériel grossier, puis une centrifugation à grande vitesse rassemble les particules de virus en une boulette de matériel suffisamment pur. La répétition des centrifugations à faible puis grande vitesse donne une préparation incontestablement homogène et probablement pure. Quand on nourrit des larves saines avec ce matériel la fréquence de la maladie devient nettement plus grande que celle que l'on trouve dans les populations sauvages; on peut en conclure que les particules de la préparation sont bien l'agent de la maladie. La quantité de virus produite par une larve est très grande; les mesures faites jusqu'ici indiquent, qu'au dernier stade de la maladie, environ un quart du poids sec des larves est converti en particules de virus. On ne trouve aucun autre, parmi les virus animaux, qui approche de ce record, bien qu'il soit presque atteint par le virus de la mosaïque du tabac et ceux de certaines maladies à virus des bactéries.

Les boulettes de TIV purifié ont des propriétés optiques singulières. Observées en lumière transmise elles ont généralement une couleur orangée (figure 16), peu différente de la couleur que montrent les agglomérats d'autres virus. Mais, quand on les examine en lumière blanche réfléchie, elles paraissent iridescentes avec les couleurs les plus notables dans les régions bleues et vertes du spectre. La couleur prédominante est en relation avec le degré d'hydratation de la boulette; très «humides» elles sont jaunes et orange (figure 17), tandis que plus «sèches» elles sont violettes. On peut déceler l'origine de ces couleurs en examinant des coupes minces de ces boulettes déshydratées et enrobées pour les coupes. Une coupe typique montre une disposition bizarre des particules (figure 7). Il est facile de voir que l'aspect est celui que donnerait une disposition au hasard, en couche mince, de microcristaux orientés. On peut conclure de cette observation que la boulette est une masse de petits cristaux, chaque cristal ayant des dimensions transversales de l'ordre de 10 μ. On peut en fait en imaginer la composition comme étant celle d'un métal polycristallin, par exemple un morceau d'alliage coulé, à une échelle agrandie. Il est bien connu qu'un échantillon de métal polycristallin donne les réflexions de Bragg quand on l'éclaire aux rayons X. Pour que ces réflexions soient possibles, il faut que les espaces interatomiques dans les cristaux aient environ la moitié de la longueur d'onde des rayons X employés et que l'orientation d'un cristal par rapport au faisceau incident soit telle que les rayons X dispersés ou «réfléchis» donnent des interférences. Si notre cristal est construit avec des particules de virus de taille beaucoup plus grande que les atomes et si nous substituons une longueur d'onde de lumière visible aux rayons X, nous devons obtenir les réflexions de Bragg dans la région visible du spectre. L'éclairage se faisant avec toutes les longueurs d'onde visibles (lumière blanche), tout cristal de virus sera orienté de manière à refléter une longueur d'onde particulière et l'effet total sera l'iridescence — réflexion de lumières de différentes couleurs par de multiples petites régions. Ces propriétés optiques ne se retrouvent pas pour d'autres virus car le chemin optique entre les plans adjacents dans les cristaux doit être de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde de la lumière visible. Mais les particules de TIV sont

si grandes que l'espace entre ces particules est d'environ 1 500 Å, ce qui, en présumant un indice de réfraction d'environ 1,5, donne un chemin optique d'environ 2 300 Å. Il y a donc possibilité d'interférences dans les couleurs bleue ou verte. On connaît des virus animaux beaucoup plus grands que le TIV, mais leur taille et leur forme ne sont apparemment pas assez homogènes pour permettre la cristallisation.

Les préparations purifiées de TIV ont une tendance à cristalliser quand on les laisse reposer à froid, bien que leur comportement dans ce cas ne soit pas entièrement prévisible. Une suspension de TIV dans un tube de verre ordinaire se retrouvera généralement partiellement cristallisée avec une masse de petits cristaux très réfléchissants en bas et une concentration beaucoup plus faible de virus dans le liquide surnageant (figure 15). Dans un cas on a pu former un dépôt de cristaux sur la surface plane d'une lame microscopique et dans cette position les photographier facilement (figure 18). Les essais faits jusqu'ici pour induire la cristallisation par addition de sulfate d'ammonium demi-saturé (méthode classique pour la cristallisation des virus végétaux) ont donné peu de succès. Il serait d'un intérêt considérable d'examiner de tels cristaux aux rayons X et de les soumettre à l'analyse optique; il est donc nécessaire d'étudier davantage les conditions de leur formation et de leur stabilité après formation.

Puisqu'on peut obtenir les particules de TIV manifestement tout à fait pures et en quantités considérables, elles constituent un matériel convenable pour des recherches chimiques et physiques destinées à nous fournir une meilleure connaissance de la structure des virus. Les analyses chimiques préliminaires montrent que les particules du virus sont nucléoprotéiques. La fraction acide nucléique est entièrement de type désoxy et représente environ 15% de la masse du virus. Une détermination des proportions des substances basiques indique que celles-ci sont distribuées d'une manière analogue à celle que l'on trouve dans les autres virus d'insectes analysés. Des études préliminaires de sédimentation montrent que les particules forment un sédiment à frontière nette, résultat qui n'est guère surprenant si l'on considère le haut degré d'homogénéité morphologique mis en évidence par la cristallisation et le microscope électronique.

On peut étudier la morphologie des particules de TIV par microscopie électronique de coupes minces de matériel les contenant ou de préparations de virus purifié. Les micrographies de coupes (figure 8) montrent deux traits caractéristiques, l'un attendu et l'autre nouveau. La constatation attendue est que les particules possèdent une certaine structure interne non uniforme. Il semble y avoir une enveloppe externe à l'intérieur de laquelle se trouve une région relativement transparente; la région centrale de la particule est remplie de matériel opaque peut-être identifiable avec sa fraction acide nucléique. On rencontre communément une telle différenciation de la structure apparente dans les coupes des virus animaux les plus grands. La constatation inattendue est que l'on rencontre assez fréquemment des contours à six côtés pour les coupes de particules. On ne voit pas d'hexagones réguliers probablement à cause de la distorsion due au rasoir lors de la confection des coupes au microtome, mais la relation entre la direction de la distorsion apparente et celle connue de la coupe est telle qu'elle implique que les vrais contours sont hexagonaux.

Les préparations purifiées de TIV apparaissent, au microscope électronique, formées de particules uniformes dont le diamètre est d'environ 1 300 Å. Même dans les échantillons secs préparés à partir d'une solution aqueuse par la méthode usuelle et donc souffrant de distorsions dues à la tension superficielle, le contour caractéristique des particules est hexagonal (figure 9) plutôt que circulaire. Cet aspect est tout à fait unique chez les virus connus de taille comparable; la vaccine, par exemple, est en forme de briques de taille irrégulière, tandis que le virus de la grippe est circulaire et de plusieurs tailles.

Les particules de TIV paraissant posséder un contour à six côtés, il est raisonnable de supposer qu'elles sont polyédriques. On connaît d'autres exemples de particules de virus à forme polyédrique [20] parmi les virus des plantes et des bactéries. Mais dans aucun cas il n'a été jusqu'ici possible d'arriver à une idée convaincante de la forme exacte du polyèdre. La difficulté est principalement due à la petitesse des particules qui rend incertaine une détermination directe de la forme des faces du polyèdre. Une méthode indirecte consiste à tirer la forme tridimensionnelle du polyèdre de la forme des ombres portées en utilisant une technique d'ombrage [21]. Avec les petits virus cette méthode est inemployable à cause de la rugosité relative de la surface du film (nitrate de cellulose) sur lequel on doit monter les particules [22].

Les particules de TIV sont assez grosses et leur forme assez régulière pour donner quelque espoir de pouvoir déterminer entièrement leur forme

polyédrique par l'analyse des formes d'ombres. On ne peut entreprendre une observation directe de la forme des facettes à cause de la grande opacité électronique d'objets aussi grands. Pour tenter l'analyse des ombres, il est essentiel de conserver la forme tridimensionnelle des particules, quand on les dessèche pour la microscopie électronique. On assure cette conservation de manière efficace en fixant par congélation-dessiccation (freeze-drying) [23]. Comme on peut le voir (figure 10), les ombres des particules ainsi préparées ont une forme distincte et leurs contours ne sont pas brouillés par la rugosité du film support.

Seuls trois types de polyèdres peuvent avoir des contours à six côtés quand l'objet repose sur n'importe laquelle de ses faces. Ce sont l'octaèdre, le dodécaèdre rhombique et l'icosaèdre. Mais comme on peut le voir par des essais avec des modèles, l'octaèdre ne peut porter une ombre à cinq côtés, type fréquemment donné par les particules de TIV obtenues par congélation-dessiccation (figure 10, à droite). La décision implique alors un choix entre le dodécaèdre rhombique et l'icosaèdre. On peut trouver la réponse correcte en appliquant un double ombrage dans lequel on porte séparément deux ombres suivant deux directions à 60° l'une de l'autre. De cette manière, on peut examiner une seule particule de deux points de vue. La figure 11 montre un modèle d'icosaèdre éclairé par deux sources lumineuses placées à 60° l'une de l'autre par rapport au modèle. Quand l'orientation du modèle est telle qu'un côté du contour hexagonal est dirigé vers une ombre, le côté adjacent dirigé vers l'autre ombre, une des deux ombres formées aura cinq côtés et une extrémité émoussée obtuse tandis que l'autre aura quatre côtés et sera pointue. Un dodécaèdre rhombique ne donne pas une paire d'ombres analogue quand on l'éclaire de cette façon. La figure 12 montre deux particules de TIV obtenues par congélation-dessiccation, puis exposées à un double ombrage pour tester leur correspondance avec le modèle icosaédrique. Comme on peut le voir la corrélation entre les formes des ombres est bonne. Nous pouvons donc conclure que la morphologie tridimensionnelle d'un virus est maintenant connue et que sa forme est celle d'un icosaèdre. Il reste à voir ce que cette détermination apportera de plus à nos notions sur la structure des virus.

RÉFÉRENCES

[1] THOMPSON, C. G. et STEINHAUS, E. A. *Hilgardia*, **19**, 411, 1950.

[2] WYATT, G. R. *J. gen. Physiol.*, **36**, 201, 1952.

[3] BERGOLD, G. H. *Biol. Zbl.*, **63**, 1, 1943.

[4] BERGOLD, G. H. et BRILL, R. *Kolloidzschr.*, **99**, 1, 1942.

[5] MORGAN, C., BERGOLD, G. H., MOORE, D. H. et ROSE, H. M. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **1**, 187, 1955.

[6] BERGOLD, G. H. *Z. Naturforsch.*, **2b**, 122, 1947.

[7] SMITH, K. M. et XEROS, N. *Parasitology*, **43**, 178, 1953.

[8] SMITH, K. M. et WYCKOFF, R. W. G. *Nature, Lond.*, **166**, 861, 1950.

[9] SMITH, K. M. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **2**, 301, 1956.

[10] STEINHAUS, E. A., HUGHES, K. M. et WASSER, H. B. *J. Bact.*, **57**, 219, 1949.

[11] SMITH, K. M. et XEROS, N. *Parasitology*, **44**, 400, 1954.

[12] HUGHES, K. M. et THOMPSON, C. G. *J. infect. Dis.*, **89**, 173, 1951.

[13] WASSER, H. B. *J. Bact.*, **64**, 787, 1952.

[14] XEROS, N. *Nature, Lond.*, **174**, 562, 1954.

[15] SMITH, K. M. *Endeavour*, **10**, 194, 1951.

[16] SMITH, K. M. et RIVERS, C. F. *Parasitology*, **46**, 235, 1956.

[17] SMITH, K. M. et XEROS, N. *Nature, Lond.*, **173**, 866, 1954.

[18] SMITH, K. M. *Ibid.*, **175**, 12, 1955.

[19] WILLIAMS, R. C. et SMITH, K. M. *Ibid.*, **179**, 119, 1957.

[20] WILLIAMS, R. C. *Cold Spr. Harb. Symp. quant. Biol.*, **18**, 185, 1953.

[21] WILLIAMS, R. C. et WYCKOFF, R. W. G. *Proc. Soc. exp. Biol. Med., N.Y.*, **58**, 265, 1945.

[22] KAESBERG, P. *Science*, **124**, 626, 1956.

[23] WILLIAMS, R. C. *Exp. Cell Res.*, **4**, 188, 1953.

L'histoire des premiers aimants permanents

par E. N. DA C. ANDRADE

L'histoire du magnétisme n'a été que peu explorée et en général on ne sait absolument rien de la puissance des aimants fabriqués il y a plus de deux siècles et des méthodes utilisées pour leur construction. On sera également surpris d'apprendre que les aimants permanents produits à partir d'oxyde de fer en poudre, que l'on imagine d'invention récente, datent du dix-huitième siècle. Cet article retrace l'histoire des aimants permanents depuis les temps anciens jusqu'à l'invention des alliages d'Heusler au début de ce siècle.

L'industrie des aimants permanents représente de nos jours une activité florissante, à la fois comme science et comme art, en particulier à Sheffield. Ceci peut causer quelque surprise puisqu'il semble que l'impression la plus répandue soit que de tels aimants aient été remplacés par les électroaimants dans toutes les applications importantes. Cependant l'aimant permanent joue un rôle essentiel dans les magnétos haute-tension, les générateurs utilisés en téléphonie, les récepteurs téléphoniques, la tête de lecture des tourne-disques, les bobines de haut-parleurs, les unités de focalisation en télévision et autres équipements supposant une déflexion d'un pinceau d'électrons, les compteurs de courant, les thermostats. Le rôle de l'aimant permanent est primordial encore dans un grand nombre de systèmes moins familiers tels que les mandrins à aimant permanent et les séparateurs magnétiques destinés à éliminer les particules ferrugineuses indésirables. D'admirables recherches et beaucoup d'ingéniosité ont été et sont encore consacrés aux alliages spéciaux maintenant utilisés sur une grande échelle, aux méthodes d'aimantation, aux formes et modèles — ceux notamment des pièces polaires en fer doux —, et à d'autres problèmes extrêmement spécialisés. L'aimant permanent se retrouve jusqu'en physique atomique. C. D. Ellis a mis à profit le fait que l'aimant conservait une valeur de champ constante pour l'utiliser à propos d'un travail sur des spectres de rayons β, les variations de force étant réalisées au moyen de courants appliqués entre les différentes expériences Plus récemment des aimants permanents ont été employés dans des recherches sur les rayons cosmiques et en spectroscopie aux longueurs d'ondes radioélectriques. Dans un ouvrage paru dernièrement, P. R. Bardell [1] donne quelques applications des aimants permanents sous forme d'un tableau remarquable par la diversité de ce qui y est présenté.

Toutes ces utilisations appartiennent essentiellement au siècle actuel et en fait les aspects les plus importants des aimants permanents tels que nous les connaissons aujourd'hui ont été développés durant les trente dernières années. Aux premiers jours de la physique cependant, l'aimant permanent fut l'objet de beaucoup d'attention et de recherche, en particulier avant le développement de l'électroaimant et l'extension du réseau de distribution de courant électrique. Dans les histoires de la physique, on parle de l'œuvre de pionnier de William Gilbert en magnétisme, mais l'intérêt porté à l'aimant permanent par des hommes tels que Canton, Aepinus, Coulomb et Jamin, cités pour d'autres découvertes, est passé sous silence; il en est de même pour de très intéressants travaux de savants moins illustres. Dans le présent article, on décrira les recherches poursuivies jusque vers les dernières années du XIXe siècle, qui marque la fin d'une époque.

Le seul aimant permanent connu des anciens était la pierre d'aimant naturel (en anglais *lodestone*, « pierre qui montre le chemin », terme dû à sa propriété de guider le navigateur). C'est une variété de magnétite, Fe_3O_4, magnétique à l'état naturel. Son appellation classique, *magnes*, vient du nom d'une contrée de Thessalie, la Magnésie, où elle fut découverte. On dit que Thalès de Milet (600 av. J.-C.) aurait connu ses propriétés anormales, et sa puissance d'attraction est mentionnée par différents savants grecs de la période 400–200 av. J.-C. Plus tard, dans le *De natura rerum* (VI, 1042), Lucrèce fait mention d'une répulsion, sans aucune notion bien précise de ce dont il s'agit.

Les premiers aimants permanents étaient des aiguilles de fer qui avaient été «touchées» par un aimant naturel. On a beaucoup écrit sur la date et l'origine du procédé. Autour de l'année 1200,

FIGURE 1 – *Aimants naturels de Gilbert, «armés» ou munis de calottes, tels qu'ils sont représentés dans le* De Magnete.

FIGURE 3 – *Forgeage d'une barre de fer dans la direction du champ magnétique terrestre, comme il est indiqué dans le* De Magnete *de Gilbert.*

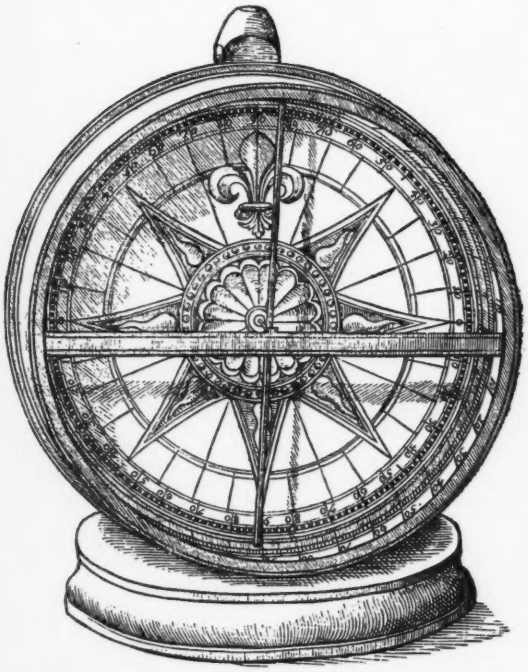


FIGURE 2 – *La boussole d'inclinaison de Gilbert* (De Magnete).

le troubadour français Guyot de Provins (que E. Hoppe [2] appelle Hugue de Bercy) parle dans son poème satirique «La Bible» d'une boussole faite d'une telle aiguille supportée par une paille flottante. Dans son fameux *Epistola ad Sygerum de Foucaucourt militem de magnete* (1269) Pierre Peregrinus écrit que tous ceux qui l'ont essayé savent qu'une pièce oblongue de fer qui a touché un aimant naturel s'oriente vers le pôle lorsqu'on la fait flotter sur un morceau de bois. Robert Norman, dans son petit livre *The Newe Attractive* (1581) parle également d'aiguilles touchées par la pierre, mais ne donne aucun détail. Il y a aussi la contribution chinoise, mais nous traiterons ici du développement de l'aimant permanent tel qu'il peut être suivi de façon continue, et ces quelques notes n'ont pas la prétention de faire plus qu'indiquer des dates bien connues.

Le premier grand travail systématique relatif à l'aimant est décrit par William Gilbert dans le fameux *De Magnete Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure Physiologia Nova*, publié en 1600. C'est l'un des plus grands classiques de physique expérimentale et sa valeur a été reconnue immédiatement [3]. A une époque au cours de laquelle bien des écrits traitant de l'aimant n'étaient que des traditions sans valeur et des superstitions absurdes bien qu'amusantes, Gilbert

apparut comme un expérimentateur attentif et compétent. Un exemple de croyance traditionnelle réfutée par Gilbert est celle que l'aimant naturel perd sa puissance d'attraction en présence du diamant, entre autres choses (dont l'ail et le sang de chèvre): il montra que le fait d'entourer l'aimant de soixante quinze diamants ne produisait aucun effet. La partie la plus importante de son œuvre se rapporte au magnétisme terrestre, domaine auquel nous ne nous arrêterons pas ici, mais ses études sur l'aimant lui-même sont fondamentales.

Les aimants les plus puissants du temps de Gilbert étaient encore des aimants naturels. Il indique comment on peut augmenter leur puissance d'attraction en les «armant» c'est-à-dire, en adjoignant à leurs extrémités une sorte de calotte en fer doux, comme le montre la figure 1. C'est le premier exemple de pièces polaires en fer doux si souvent utilisées dans les aimants permanents modernes. A propos d'un de ces aimants, Gilbert écrit que le fait de l'armer permet de faire passer le poids de fer pouvant être soulevé de quatre onces à vingt onces, mais il prend soin de remarquer que le fait d'armer n'accroît pas l'attraction à distance.

Gilbert s'est beaucoup occupé de fabriquer des aimants permanents ou aimants artificiels comme on les a longtemps appelés pour les distinguer des aimants naturels. Il en avait besoin pour les compas et boussoles d'inclinaison et appelait ces aiguilles montées sur pivot des *versoria*, ce que nous pourrions traduire par «tourniquets», le mot *versorium* étant apparemment de son invention. Il met l'accent sur le matériau qui doit être utilisé: à un certain endroit, il dit que les aiguilles doivent être faites *ex optimo aciario* ce qui semble vouloir dire du meilleur acier à lame, le mot n'étant pas du latin classique dérive probablement d'*acies*, — une lame — en particulier une lame d'épée. Ailleurs il précise «du fer le meilleur qui ait été fondu» (*ferrum excoctum*), ou encore «fer rendu très dur», c'est-à-dire qu'il met nettement en garde contre le fer doux. A propos de la taille de ses aimants, il dit que sa boussole d'inclinaison, présentée figure 2, pourrait avoir vingt-cinq à trente centimètres de diamètre, et ailleurs il parle d'un aimant ayant l'épaisseur d'une plume d'oie et d'environ vingt centimètres de long.

Gilbert donne trois procédés au moyen desquels l'acier peut acquérir un magnétisme permanent (ou «verticité» — tendance à tourner — comme il l'appelle). La première méthode consistait à passer un aimant naturel sur l'aiguille, du milieu de celle-ci vers ses extrémités, l'application devant être continue en frottant doucement. Traitant de la boussole d'inclinaison, il parle de toucher les extrémités opposées avec les deux pôles différents de l'aimant, mais il ne fait jamais allusion à autre chose qu'à un simple contact. La seconde méthode était le forgeage d'un échantillon horizontal dirigé dans le champ terrestre suivant la direction nord-sud comme le montre la figure 3. Il note aussi que le fil de fer s'aimante s'il est étiré suivant une direction nord-sud, mais non dans une direction est-ouest. Cette méthode, alors, correspond à une déformation plastique considérable suivant le champ terrestre.

Gilbert était certain que l'aimantation permanente est détruite par chauffage au rouge, mais il rapporte qu'un barreau de fer amené au rouge puis refroidi suivant la direction du champ terrestre s'aimante d'une façon permanente, et plus loin, que des barreaux de fer abandonnés suivant la direction du champ terrestre pendant vingt ans ou plus — barres de fenêtres par exemple — acquièrent également la «propriété de tourner». Cette aimantation par exposition dans le champ terrestre sans déformation plastique constitue un troisième procédé et ces trois méthodes générales représentent tout ce qui a été utilisé jusqu'à l'apparition des électroaimants en 1825. J. Robison [4] écrit en 1822: «Il n'est pas excessif de dire que le travail de Gilbert contient presque tout ce que nous savons sur le magnétisme»; s'il exagère, l'exagération n'est pas bien grande.

Peu de progrès ont été faits au dix-septième siècle. La méthode consistant à armer les aimants naturels fut améliorée en taillant les extrémités au carré et en leur appliquant des plaques de fer convenablement façonnées, ce qui augmente la force d'attraction sur le fer en contact, comme l'illustre la figure 6. La figure 4 montre un montage d'aimant naturel caractéristique du XVIIe siècle. En 1675, Boyle observe avec perspicacité que la destruction de l'aimantation par chauffage sans aucun changement apparent dans le métal montre que cette aimantation est une question de «disposition ou constitution interne» du fer, et, confirmant les découvertes générales de Gilbert, dit que les pincettes et autres objets en fer chauffés et placés verticalement à refroidir — ce qui correspond à peu près à la direction du champ magnétique terrestre en Angleterre — acquièrent parfois une forte aimantation. Cette constatation a été utilisé, comme on le verra, plus tard.

Rappelons que les aimants naturels étaient fort coûteux. En 1711, Hartsoeker [5] se plaint de ce qu'on lui a demandé 3 000 florins pour un aimant

FIGURE 4 – *Aimant naturel du XVIIe siècle dans une monture d'argent* (*vers* 1660).

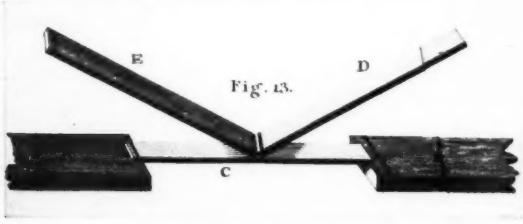


FIGURE 5 – *Représentation d'une méthode d'aimantation de Gowin Knight d'après George Adams.*

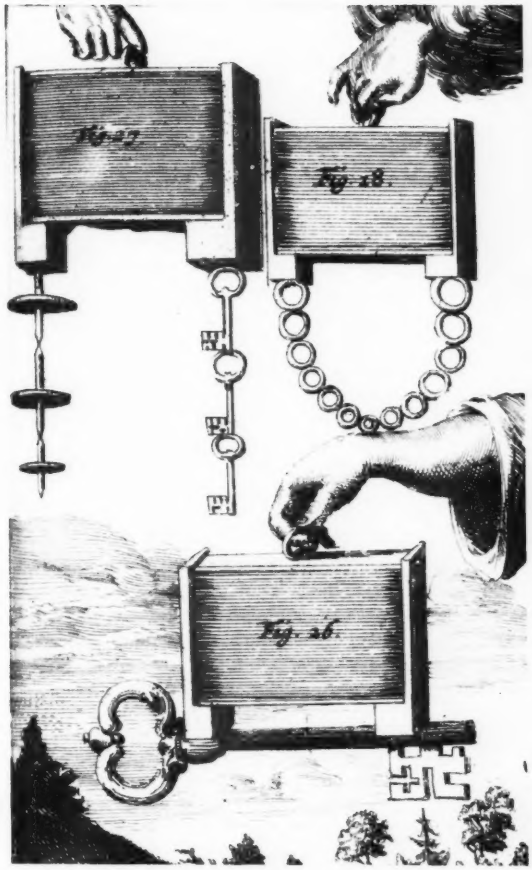


FIGURE 6 – *Représentation des aimants naturels par Dalencé dans son «Traitté de l'Aiman»*, en 1687.

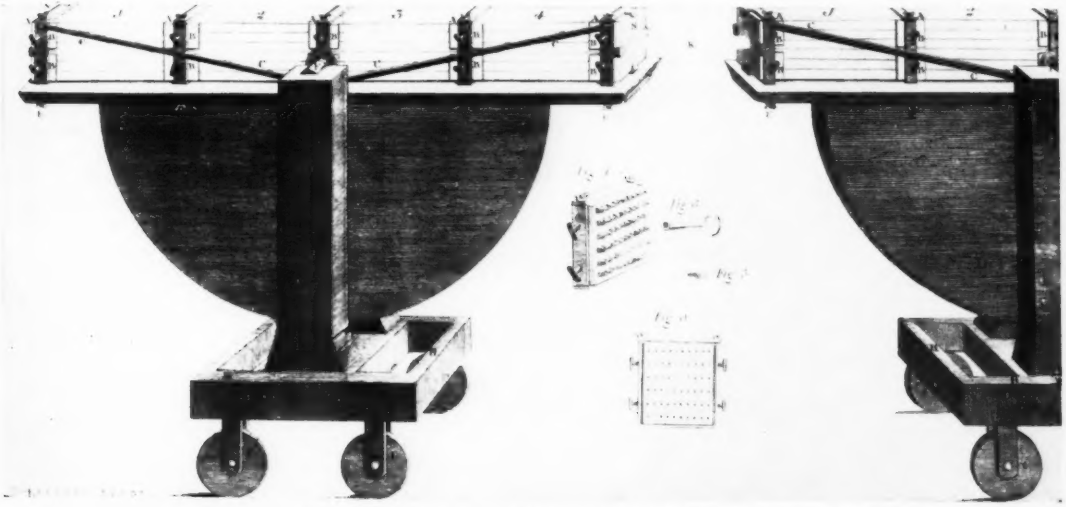


FIGURE 7 – *Représentation de l'ensemble magnétique de Knight d'après Fothergill.*

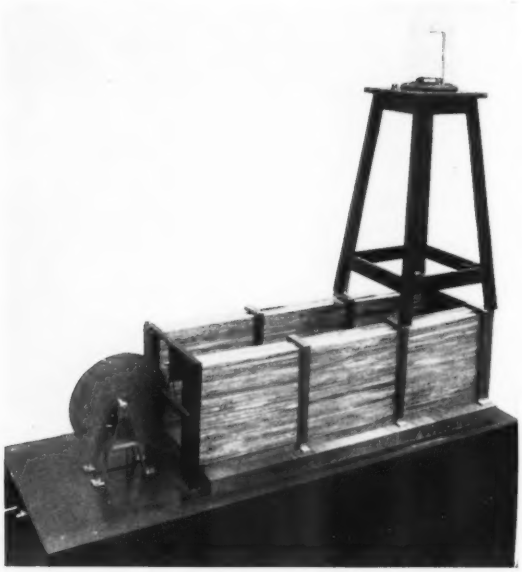


FIGURE 8 – *Adaptation de l'ensemble magnétique de Knight aux expériences de Faraday.* (Crown copyright, Science Museum, *Londres.*)

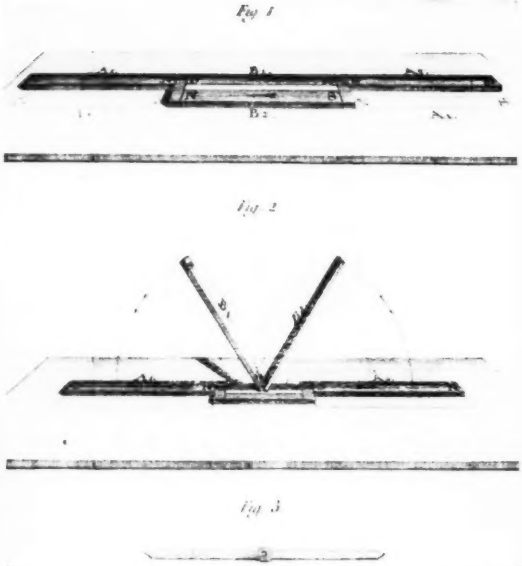


FIGURE 9 – *Aimantation par la méthode de du Hamel.*

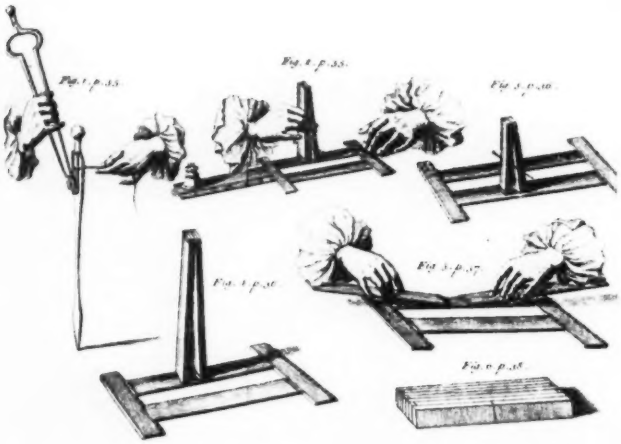


FIGURE 10 – *Méthodes de Canton pour l'aimantation des barreaux d'acier.*

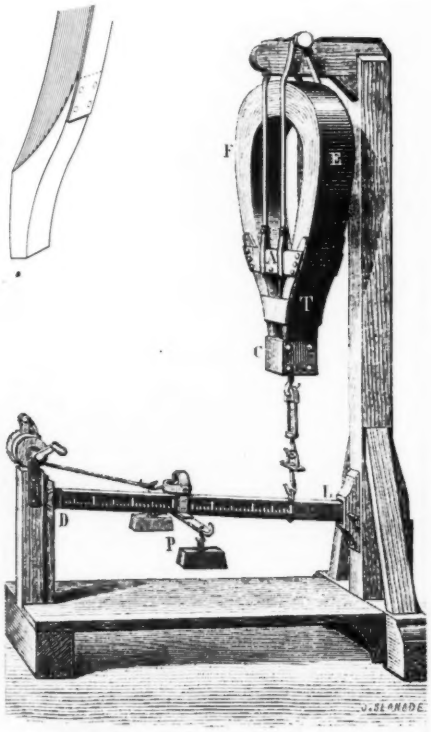


FIGURE 11 (*à droite*) – *Grand aimant permanent de Jamin. L'ajustement des pièces polaires de fer doux est montré en médaillon.*

gros comme la moitié de son poing; cette somme est à peu près équivalente à 3 000 000 de nos francs actuels. Servington Savery [6] qui décrivit son procédé en 1730, fut le premier à construire de forts aimants permanents. Il se servait de fils d'acier de 1,27 mm de diamètre et 70 mm de long, acier «traité très dur». Ces fils étaient aimantés par contact avec un aimant naturel, mais il ne donne aucun détail de la méthode. Avec 37 fils il faisait une sorte de faisceau hexagonal, en disposant les pôles semblables dans le même sens et y adaptant des pièces terminales, ou armatures, de fer doux. C'était le premier aimant complexe, composé de plus petits. A l'aide de deux de ces aimants, il aimantait des fils d'acier suivant une méthode inventée par lui: il s'agissait de scinder le contact établi en plaçant l'un contre l'autre, au milieu du barreau à aimanter, le pôle nord de l'un des aimants, et le pôle sud du second, puis d'éloigner les aimants en des directions opposées. Il adopta aussi une méthode utilisée plus tard, qui consistait à placer bout à bout dans une rainure, plusieurs gros fils qui devaient être aimantés, puis à les traiter comme un fil unique en laissant tomber ceux des extrémités. Un seul de ces fils pouvait soulever un clou pesant douze fois son propre poids. Savery a fabriqué également par une méthode compliquée à contacts mutuels, de gros barreaux aimantés de 40 × 2 × 2 cm, l'un pouvant soutenir un autre placé bout à bout. Rappelons que la force portante des aimants de même forme géométrique varie approximativement comme la puissance 2/3 du poids.

Après Savery vint un homme à qui les aimants firent une réputation européenne, Gowin Knight (1713–1772). Grâce à ses aimants, ses affaires furent prospères, ou, pour employer le langage d'une époque raffinée, «lui procurèrent de considérables avantages pécuniaires» [7]. Knight a gardé le secret d'un grand nombre de ses méthodes. Cependant il nous a communiqué la méthode du contact (ou «touche») séparé qu'il utilisait pour ses aiguilles de boussole de 125 mm de long. Deux grands barreaux aimantés d'acier dur étaient alignés, le pôle nord de l'un face au pôle sud de l'autre, avec un mince intervalle entre les deux; l'aiguille était appliquée sur les deux extrémités des aimants, puis on éloignait ceux-ci l'un de l'autre, l'opération étant répétée un certain nombre de fois. George Adams [9] a décrit en 1794 la méthode illustrée figure 5, dans laquelle les extrémités du barreau à aimanter sont supportées par des aimants permanents et il utilise la méthode du contact séparé avec des aimants inclinés. Les aimants inclinés sont accouplés, pôle nord de l'un vers le pôle sud de l'autre, puis éloignés, l'opération étant répétée plusieurs fois et appliquée à chacune des surfaces du barreau C. Il s'agit selon Adams de l'une des méthodes de Knight. Ce George Adams était le fils de George Adams l'Aîné, fabricant d'instruments, qui fut étroitement associé à Knight dans la fabrication des compas; ainsi cette affirmation est vraisemblablement correcte. Cette méthode est, en substance, celle qui sera adoptée plus tard par Coulomb [11].

La renommée particulière de Knight était due à son «ensemble magnétique», un aimant complexe très puissant, fait de barreaux d'acier aimantés de 38 × 2,5 × 1,25 cm. J. Fothergill [10] qui a décrit l'ensemble après la mort de Knight indique que ces aimants élémentaires étaient «imprégnés par des frottements répétés» mais rien de plus sur la méthode. Chaque moitié de l'aimant complexe se composait de 240 barreaux, placés bout à bout sur quatre longueurs, chacune comprenant 6 aimants suivant la hauteur et 10 suivant la largeur (figure 7), de telle façon que les dimensions approximatives hors tout fussent de 162 × 15 × 13 cm. Cet aimant fut présenté à la Royal Society par Fothergill, qui en avait hérité, en 1776; une moitié venait d'être abîmée par le feu et remplacée par des aimants de qualité inférieure. Plus tard, Christie réunit les deux moitiés pour former un aimant en fer à cheval que Faraday utilisera dans ses célèbres expériences sur le disque tournant en cuivre en 1831. La figure 8 est une photographie de l'aimant actuel aménagé pour cette expérience et exposé au *Science Museum*.

Donnons quelques exemples de la puissance des aimants de Knight qui avaient si fortement impressionné ses contemporains. Un barreau de 53 g soulevait vingt-huit fois son propre poids de fer, un autre pesant 453 g soulevait douze fois son poids, tandis qu'un aimant composé de douze barreaux, pesant au total 620 g, soulevait quatorze fois son poids.

En 1938 une autorité distinguée, écrivant dans le *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, parla d'un type d'aimant permanent «entièrement nouveau» préparé au Japon à partir d'oxydes divisés, par Kato et Takei. Cependant, de tels aimants avaient été fabriqués par Gowin Knight suivant un procédé dont il a gardé le secret, mais qui fut publié en 1779, après sa mort, par Benjamin Wilson [7]. Il plaçait dans une cuve d'eau propre une grande quantité de limaille de fer, puis agitait dans tous les sens pendant quelques heures,

jusqu'à l'obtention en suspension d'oxyde de fer finement divisé. Il laissait alors s'écouler l'eau et les particules se déposaient sous forme de boue. En répétant l'opération Knight arrivait à un oxyde pulvérulent suffisamment fin qu'il mélangeait à de l'huile de lin pour obtenir une pâte consistante, laquelle était moulée suivant les formes désirées et cuite à feu modéré. Les blocs étaient alors aimantés entre les pôles de son ensemble magnétique et il semble que les aimants fabriqués de cette façon étaient très puissants. Il y en eut un au *British Museum*, mais je n'ai pas réussi à en retrouver la trace.

A la même époque que Knight, il y eut John Canton (1718–1772) et John Michell (1724–1793). Canton [12] prenait comme aimants originaux des tisonniers et des pincettes, chauffés puis mis à refroidir en position verticale. «Ils étaient d'autant meilleurs qu'ils étaient plus grands et qu'ils avaient servi plus longtemps». Il aimantait de petits barreaux de fer en les maintenant, l'un après l'autre, contre le tisonnier et en les frottant doucement avec les pincettes, comme on peut le voir figure 10. Puis il plaçait parallèlement deux grands barreaux d'acier, les accouplait par deux barreaux de fer doux plus courts et réalisait l'aimantation en plaçant ses petits aimants debout sur l'acier, par paires, le pôle nord de l'un en contact avec le pôle sud de l'autre à la partie supérieure, les extrémités inférieures étant légèrement séparées au moyen d'une cheville. Il produisait ainsi dans l'acier un champ intense à une faible distance. Puis il frottait le barreau de haut en bas avec les aimants rassemblés: c'est la méthode du double contact. Avec les aimants ainsi produits, il aimantait des barreaux de plus grande dimension par double contact. Finalement ces aimants servaient à aimanter d'autres barreaux par la méthode du contact séparé, comme le montre aussi la figure 10. D'après ses propres paroles: «le contact horizontal, après le contact vertical, rendra les barreaux aussi puissants qu'ils peuvent l'être». Ses aimants en barreaux, pesant cinquante grammes, soulevaient seize fois leur masse de fer.

La même année (1750) Michell publia son *Treatise on Artificial Magnets*, le premier ouvrage traitant de la fabrication des aimants d'acier. Il fit ses premiers aimants avec des aimants naturels relativement courts reposant par les deux pôles sur un barreau d'acier et frottés d'un mouvement de va-et-vient (variante du double contact) puis utilisa ses aimants trois par trois, suivant la méthode du double contact telle qu'elle avait été décrite par Canton. Apparemment chacun était arrivé à cette méthode indépendamment. Il se servit aussi d'un cadre de bois pour tenir les aimants en contact en position verticale, les joignant à l'extrémité supérieure par du fer doux (figure 12).

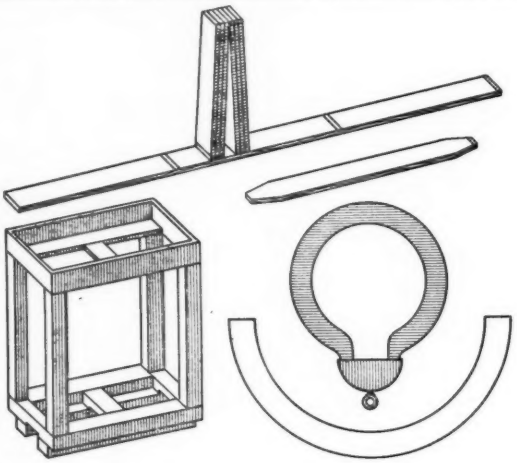


FIGURE 12 – *Illustration du procédé du double contact de Michell.*

L'Angleterre était au milieu du XVIIIe siècle la patrie reconnue de l'aimant permanent et le mieux que pouvaient faire les autres pays était de produire des aimants aussi bons que ceux de Knight. D'importants travaux furent menés à bien ailleurs, en particulier en France et en Russie. Aepinus [13] applique la méthode du double contact à des aimants inclinés montés dans un cadre de bois qu'il glissait d'avant en arrière comme un rabot de menuisier. Du Hamel (ou Duhamel) [14] façonnait un rectangle comme le faisait Canton, mais ajoutait deux aimants fixes, comme le montre la figure 9, et utilisait la méthode du double contact. Coulomb dit que Canton employait la méthode de du Hamel, mais bien que les deux articles aient paru la même année, en 1750, il semblerait que Canton ait eu la priorité car sa communication fut présentée le 17 janvier, celle de du Hamel étant datée du 8 avril. Antheaulme [15] disposa bout à bout deux barres de 4,50 m de long, séparées par un petit intervalle et inclinées sur la verticale de façon à suivre la direction du champ terrestre. A l'extrémité de chacune des barres, du côté de l'interstice, le «talon», il y avait une saillie, sur lequel on frottait lentement le barreau qui devait être aimanté. Cela donnait, dit-on, de bons résultats.

Il y eut au XVIIIe siècle un grand nombre de méthodes de «touche» présentant des différences minimes, mais en somme — et les chiffres en

donnent la preuve — les meilleurs aimants de cette époque furent étonnamment bons.

Un point intéressant à propos de la méthode dite de touche, ou «par contact», — on devrait dire «par frottement» — est la part jouée par le frottement. Le frottement semble essentiel: il a été noté (par exemple par Robison en 1801 [16]) que le fait d'huiler les aimants mobiles affaiblissait l'aimantation induite, et il en est de même des autres lubrifiants, comme le talc ou l'or en feuille. Haldat [17] dit que des fils d'acier placés dans un champ si faible qu'il n'engendre spontanément qu'une aimantation réduite, peuvent acquérir une aimantation permanente marquée lorsqu'on les frotte avec n'importe quelle substance dure telle que laiton, verre ou bois dur. Il en conclut que toute vibration est favorable à l'aimantation.

Deux exemples ont été donnés d'aimants composés d'un certain nombre d'aimants identiques placés côte à côte, les groupes hexagonaux de Savery et le grand ensemble magnétique de Knight. Des barreaux épais ne peuvent être aimantés jusqu'à saturation par aucune des méthodes de contact, bien que les premiers expérimentateurs conseillent de retourner les barreaux et «toucher» deux côtés opposés ou tous les quatre. Les aimants composés ont cet avantage que les barreaux élémentaires minces peuvent être aimantés à saturation. Cependant ces aimants élémentaires tendent à se désaimanter lorsque deux pôles identiques sont mis en contact. Coulomb [18] a étudié cette question avec beaucoup de soin sur des assemblages de minces aimants permanents d'environ 15 cm de long sur 25 mm de large et, pour douze de ceux-ci pris ensemble, par exemple, il a trouvé que la perte — comparée au total pour les aimants pris séparément — s'élevait à 79%. En 1832, Scoresby [19] a repris des expériences identiques qui le conduisirent à construire des aimants permanents puissants faits de bandes d'acier séparées par de l'air et reliées à une extrémité par des pièces polaires en fer doux comme le montre la figure 13. De tels aimants sont souvent représentés dans les ouvrages du XIXe siècle. A peu près à la même époque, Nobili améliora l'aimant composé en diminuant la longueur des bandes de part et d'autre de la bande centrale (figure 14).

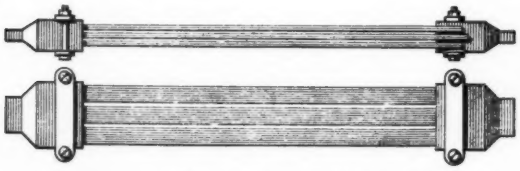


FIGURE 13 – *Aimant permanent du type Scoresby.*

FIGURE 14 – *Aimant permanent du type Nobili.*

Avec le développement de l'électroaimant et la diminution du nombre des amateurs fortunés, qui, au XVIIIe siècle avaient été les acheteurs de curiosités scientifiques, l'enthousiasme pour l'étude de l'aimant permanent diminua. Il n'y avait aucune demande industrielle. Cependant, vers 1873, J. C. Jamin, connu de tous les physiciens pour ses travaux sur les interférences en optique, porta beaucoup d'attention au sujet [20] et fabriqua un aimant qui selon lui était le plus puissant du monde: il pesait 50 kg et était capable de supporter une charge de 500 kg. Les aimants étaient constitués par du feuillard d'acier, «les lames minces s'aimantent à cœur». Dans son grand aimant en fer à cheval les feuilles aimantées étaient tendues à l'intérieur d'une lame d'acier de forme appropriée vissée à une armature de fer doux comme on le voit dans la figure 11, dont le médaillon montre comment les lames, de longueurs variables, étaient fixées dans l'armature. Jamin choisissait son acier soigneusement et tenait systématiquement compte d'autres questions, comme celle du volume des pièces polaires.

Considérant les développements récents des alliages magnétiques dans la réalisation des aimants permanents, les travaux anciens sur les alliages présentent un intérêt certain. Ces alliages nouveaux, tels que l'Alnico, contiennent en proportions considérables des métaux qui ne sont que faiblement magnétiques lorsqu'on les prend individuellement. En 1758, Arderon assurait que sous certaines conditions, le laiton pouvait être aimanté et il démontra que l'effet n'était pas dû à des traces de fer [21]. En particulier, il a trouvé que le laiton non magnétique pouvait se transformer en laiton magnétique par martelage et double contact. De la même façon, Tiberius Cavallo [22] rapporte en 1786 que le laiton peut être rendu magnétique par martelage et que son aimantation est détruite par chauffage. Plusieurs fois on a remarqué que des boîtiers de boussoles, en laiton, étaient devenus magnétiques, cet effet étant généralement attribué au fer contenu dans le zinc.

Sturgeon [23], qui réalisa le premier électroaimant en 1825 a beaucoup étudié les propriétés magnétiques des alliages. Ayant trouvé que des échantillons de pièces de monnaie en argent alors

en circulation étaient magnétiques, il poursuivit des expériences qui le conduisirent à la conclusion que divers alliages de cuivre — avec l'argent, l'or, le zinc — étaient magnétiques. Une analyse méticuleuse lui apporta la conviction que ce n'était pas dû au fer. Il donna la preuve, par exemple, qu'un alliage de cuivre et d'argent dans la proportion de 1 à 5 était hautement magnétique, tandis qu'un alliage fer-antimoine dans la proportion de 1 à 20 était pratiquement dépourvu de magnétisme, ce qui se retrouvait également pour le zinc contenant un pourcentage élevé de fer. Ce travail, publié en 1846, a montré que les propriétés magnétiques des alliages n'étaient pas déterminées simplement par celles des constituants. Quoique fondamental en ce qui concerne les aimants permanents modernes, il ne semble avoir attiré qu'une attention limitée. A propos du laiton, Sturgeon avait eu tendance à douter d'abord des résultats de Cavallo, mais il écrivit finalement: «Je dois vraiment me rallier maintenant à l'opinion de Cavallo; le magnétisme du laiton n'est pas dû à la présence de matériau ferreux mais dépend d'un arrangement convenable des particules des métaux constitutifs, cuivre ou zinc.»

Dès 1867, on trouve dans un ouvrage allemand que des alliages magnétiques peuvent être constitués de matériaux non magnétiques, et des alliages non magnétiques de matériaux magnétiques, en particulier de fer. Le développement des alliages magnétiques, l'étude des conséquences résultant de l'adjonction de métaux non magnétiques au fer et au nickel, appartiennent au XXe siècle et sortent du champ de cet exposé. Cependant, mention peut être faite des alliages d'Heusler puisqu'ils datent de plus de 50 ans, la première publication ayant paru en 1901. Ce sont des ferromagnétiques non ferreux; ils le deviennent à partir d'un alliage manganèse-cuivre non magnétique, l'adjonction d'aluminium leur conférant un ferromagnétisme très important. Un alliage caractéristique d'Heusler est donné par la combinaison Cu_2MnAl, mais en général les proportions sont de l'ordre de 10–30% de manganèse, 9–15% d'aluminium, le reste étant représenté par le cuivre. Un grand nombre d'alliages modernes entrant dans la constitution des aimants permanents — par exemple les différents Alnicos et Alcomax — contiennent des pourcentages appréciables d'aluminium et de cuivre, mais aussi du fer, du nickel et du cobalt. Leurs propriétés et leur développement sont les exemples hors-pair de l'heureuse application des connaissances accumulées grâce aux méthodes de la physique appliquée et de la métallurgie moderne. Par contraste le bref historique que nous venons d'esquisser aura-t-il peut-être ceci de remarquable: qu'il montre les résultats atteints par des moyens rudimentaires à une époque où la métallurgie, en tant que science, était encore dans les limbes, et où la physique appliquée était représentée par quelques hommes aux dons scientifiques exceptionnels, suivant leurs goûts et leurs intuitions personnelles.

REMERCIEMENTS

Je suis très reconnaissant au Professeur L. F. Bates, F.R.S., et au Dr. Alun Edwards de la *Permanent Magnet Association*, pour l'aide qu'ils m'ont aimablement apportée en plusieurs points de cet article.

RÉFÉRENCES

[1] BARDELL, P. R. «Magnetic Materials in the Electrical Industry», p. 73. Macdonald & Co., Londres. 1955.
[2] HOPPE, E. «Geschichte der Physik», p. 339. Vieweg, Braunschweig. 1926.
[3] GALILEO. «Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo». 3e Dialogue. (Traduction de Salusbury.)
[4] ROBISON, J. «A System of Mechanical Philosophy», Vol. IV, 209. Edimbourg. 1822.
[5] UFFENBACH, Z. C. VON. «Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen, Holland und Engelland». Vol. III, 730, 1753.
[6] SAVERY, Servington. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **36**, 295, 1730.
[7] WILSON, Benjamin. *Ibid.*, **69**, 51, 1779.
[8] KNIGHT, Gowin. *Ibid.*, **43**, 161, 1744; **44**, 656, 1747.
[9] ADAMS, George. «Lectures on Natural and Experimental Philosophy», Vol. IV, 449, 1794.
[10] FOTHERGILL, J. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **66**, 591, 1776.
[11] COULOMB, C. A. *Mém. math. phys. Acad. R.*, **9**, 165, 1780.
[12] CANTON, J. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **47**, 31, 1750.
[13] AEPINUS, F. U. T. *Acta Acad. Moguntinae*, **2**, 255, 1759.
[14] DU HAMEL. *Mém. Acad. R. Sci.*, 154, 1750.
[15] LALANDE. *Ibid.*, 211, 1761.
[16] ROBINSON, J. «Encyclopaedia Britannica» (4e édition), Vol. XII, 375, Edimbourg. 1810. «A System of Mechanical Philosophy», IV, 283, Edimbourg. 1822.
[17] HALDAT. *Ann. Chim. Phys.*, **42**, 33, 1829.
[18] COULOMB, C. A. *Mém. prés. Acad. Sci., Paris*, 455, 1789.
[19] SCORESBY, W. «Magnetical Investigations», Vol. I, London. 1844.
[20] JAMIN, J. C. Différentes communications aux *C. R. Acad. Sci., Paris*, 1872–76; «Cours de Physique» (3e édition), Vol. IV, 326, 1883.
[21] ARDERON, W. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **50**, 774, 1758.
[22] CAVALLO, T. *Ibid.*, **76**, 62, 1786; **77**, 6, 1787; «Treatise on Magnetism», p. 283. Londres. 1787.
[23] STURGEON, W. *Mém. Manchr. lit. phil. Soc.*, **7**, 625, 1846.

L'hydratation de solutions ioniques

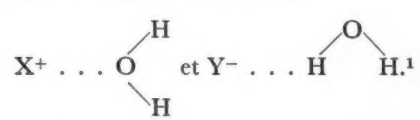
par R. P. BELL

Les solutions aqueuses de substances ionisées ont une importance exceptionnelle et la littérature consacrée à la description et à l'analyse de leurs propriétés est vaste. Dès l'origine on a postulé que les ions de ces solutions étaient probablement liés étroitement à une ou plusieurs molécules d'eau, mais la mesure du degré d'hydratation par des méthodes différentes donnait constamment des résultats contradictoires. Toutefois on a obtenu depuis peu des valeurs beaucoup plus régulières, et, compte tenu d'une conception plus précise de la structure de l'eau même, on a pu procéder à quelques généralisations utiles.

On connaît moins bien les liquides que les deux autres états, parce qu'ils n'ont pas l'arrangement géométrique bien défini des solides et ne sont pas, comme les gaz, libres de l'action intermoléculaire. Cette généralisation s'applique même aux liquides qui se composent essentiellement d'atomes sphériques comme ceux du mercure et ceux des gaz rares, et bien plus encore à ceux des solvants plus courants composés de molécules moins symétriques. On pourrait donc s'attendre à ce que les mélanges de liquides et les solutions posent un problème plus ardu encore, mais en réalité certaines propriétés des solutions, les propriétés «colligatives», — qui résultent du nombre des molécules et non de leur nature — peuvent être traitées sans recours à des hypothèses quant aux réactions mutuelles entre solvant et soluté. Les lois des solutions diluées sont bien connues: bien que les solutions d'électrolytes ne s'y conforment pas strictement même à l'état très dilué, on peut les modifier pour tenir compte des forces électrostatiques qui règnent au sein des ions. C'est à juste titre que la théorie de l'attraction interionique est considérée comme un des triomphes de la chimie physique: à vrai dire son succès fait oublier parfois notre ignorance dans d'autres domaines de la chimie des solutions.

L'action réciproque du solvant et de la matière dissoute ne peut être négligée que très rarement. Cette action joue un rôle prépondérant dans la détermination de nombre de propriétés individuelles des solutions, telles que la densité et la viscosité. Elle est au maximum lorsque la matière est ionique et la représentation la plus simple de telles solutions implique la solvatation, soit le rattachement réel de molécules de solvant à l'ion. L'essentiel de ce que nous connaissons de la solvatation se rapporte aux solutions aqueuses, ce qui est peut-être regrettable du point de vue théorique puisque, comme on le verra, la nature même de l'eau liquide n'est pas encore comprise à fond. L'importance de la question est évidente cependant, puisque l'hydratation des ions influence tous les problèmes d'équilibre et de transfert qui impliquent des ions et affecte donc une grande variété d'opérations industrielles, expérimentales et biologiques.

Dès l'origine la théorie ionique a suggéré que les ions en solution aqueuse étaient hydratés: l'idée provient probablement de l'observation que les sels solides ont souvent de l'eau de cristallisation. Du point de vue moléculaire il est raisonnable d'admettre que des molécules d'eau s'attachent à un ion. Comme la répartition des charges peut être représentée par $^{\delta+}H-O^{\delta-}-H^{\delta+}$, l'hydratation cationique ou anionique peut s'indiquer respectivement par les formules



Malheureusement le concept de l'hydratation a été appliqué souvent avec plus d'enthousiasme que de jugement et l'on ne s'est pas efforcé de définir clairement ce qu'il implique. Ainsi on a fréquemment rendu l'hydratation responsable de la discordance entre les propriétés observées et celles qui avaient été prédites par quelque théorie des solutions d'une valeur douteuse, un peu comme «l'association» était invoquée pour justifier les anomalies de non-électrolytes. Ceci aboutit au genre de situation décrit en 1949 par J. O'M. Bockris [1], qui fit remarquer que des méthodes et des auteurs

[1] On invoque parfois une liaison coordonnée pour l'hydratation des cations, mais la formule électrostatique est vraisemblablement plus proche de la vérité. Quoi qu'il en soit, la distinction entre les deux n'est pas très nette.

différents avaient produit pour le nombre d'hydratation de l'ion sodium les valeurs 1, 3, 4, 17, 71 et 700 (environ). Il n'est pas surprenant que ce sujet ait fait couler tant d'encre [2] et que l'ensemble de la conception de l'hydratation en solution soit tellement discréditée.

Lors de la période 1920–40 les grands succès de la théorie de l'attraction ionique, en expliquant les propriétés des solutions d'électrolytes très diluées, avaient créé un préjugé considérable en faveur de théories «physiques» plutôt que «chimiques» pour la dissolution, la solvatation étant classée dans les dernières. Toutefois on vit de plus en plus clairement qu'on n'irait pas loin si l'on s'obstinait à considérer l'environnement immédiat des ions sous l'angle de la théorie électrostatique. En effet la loi bien connue de Born [3] donne e^2/Dr pour l'énergie électrostatique d'un ion dans un milieu ayant une constante diélectrique D, où e = charge et r = rayon ionique. Pourtant si on l'applique de façon logique il ne serait pas admissible d'employer la valeur macroscopique ordinaire de D, puisque le solvant proche de l'ion est soumis à des champs électrostatiques et des pressions hydrostatiques énormes qui changent du tout au tout la valeur effective de D. On ne dispose d'aucune théorie exacte de ces effets et la «constante diélectrique effective» approche donc du statut d'un paramètre indéfiniment ajustable. Dans ces conditions le traitement «physique» n'offre aucun avantage sur le traitement «chimique» pour la représentation de l'interaction entre l'ion et le solvant. La difficulté ne surgit pas lorsqu'on envisage la variation des propriétés de divers sels ou de solutions en fonction de la concentration, comme c'est le cas lorsque la théorie interionique s'applique avec succès. Mais elle intervient quand on essaie d'expliquer les propriétés de divers sels ou de solutions dans des solvants différents et aussi quand il s'agit de solutions concentrées.

Depuis dix ou quinze années on s'intéresse à nouveau à la solvatation des ions surtout en solution aqueuse. Ceci est dû en partie à des difficultés rencontrées dans le traitement électrostatique, et que nous avons décrites, mais aussi aux méthodes modernes de recherche qui ont clarifié notre conception de la nature de l'eau liquide et de la façon dont on peut la modifier au moyen d'ions. Bien qu'on admette, notamment, qu'un ion puisse influencer des molécules d'eau relativement éloignées, les molécules proches, elles, seront attachées très fermement: on est donc généralement en droit de distinguer l'hydratation primaire de l'effet secondaire. La conception d'un nombre d'hydratation primaire n'est utile que pour autant qu'un nombre unique puisse rendre compte d'une variété de propriétés d'un ion donné. Toutes les molécules impliquées contribueront à l'effet de l'hydratation sur les diverses propriétés, mais l'apport de chacune dépendra de la propriété en cause. Dans les paragraphes suivants nous donnerons un aperçu des propriétés principales qui sont influencées par l'hydratation, en soulignant spécialement l'hydratation primaire. A la fin de l'article nous donnerons quelques valeurs pour des nombres d'hydratation.

MESURE DE L'HYDRATATION D'IONS

Une des méthodes les plus anciennes pour la mesure de l'hydratation ionique repose sur le transfert d'eau qui a lieu lorsqu'un courant traverse une solution. Une méthode classique pour déceler ce transport [4] consiste à ajouter à la solution un non-électrolyte qui n'est pas censé être transporté. La variation de la concentration de cette substance-étalon donnera une mesure du transport net, c'est-à-dire la différence entre la quantité transportée par les anions et les cations. Malheureusement il y a nombre d'indications [5] que les non-électrolytes du type employé d'ordinaire accompagnent aussi les ions: en fait, il paraît probable que tout non-électrolyte convenable devra sa solubilité à la présence de groupes polaires et s'attachera donc aux ions tout comme l'eau elle-même. Même si l'on pouvait surmonter cette difficulté, la méthode aurait toujours le désavantage inhérent de ne donner que la différence entre les nombres d'hydratation du cation et de l'anion et non des valeurs absolues.

Une méthode d'attaque quelque peu analogue mais plus satisfaisante comprend l'interprétation des coefficients de diffusion des électrons en solutions concentrées. Cette méthode est récente et dépend des grands progrès réalisés tant par la théorie de la diffusion que par les méthodes expérimentales. La théorie détaillée est compliquée [6], mais il est facile de voir que le transport de l'eau affectera le coefficient de la diffusion observée en solution concentrée mais non en solution diluée; on obtiendra donc des renseignements sur le transport d'eau à partir de mesures précises sur toute une gamme de concentrations. Puisque les deux ions se déplacent dans le même sens, la méthode donne des valeurs pour la somme des deux nombres d'hydratation et l'on doit poser certains postulats pour obtenir les valeurs individuelles. Il semblerait que seule la première couche de molécules d'eau soit unie assez fermement pour se

déplacer en bloc avec l'ion et l'on devrait obtenir le nombre d'hydratation primaire.

On a tenté fréquemment d'interpréter les mobilités ioniques en fonction de la solvatation et les méthodes pour leur mesure présentent l'avantage qu'on obtient des valeurs qui se rapportent aux cations et anions individuels et non à des sommes ou des différences. On signalait en 1915 déjà [7] que les mobilités des cations alcalins ($Li^+ = 38,7$, $Na^+ = 50,1$, $K^+ = 73,5$, $Rb^+ = 77,8$) augmentent tandis que le rayon ionique s'accroît, contrairement à ce que l'on pourrait supposer. On peut clairement expliquer ce phénomène qualitativement en disant que l'hydratation du cation décroît en descendant le long de la série, mais il serait difficile d'y attacher quantitativement un nombre d'hydratation précis. Les nombres d'hydratation absolus obtenus par cette méthode sont très douteux, mais ils semblent logiques et varient dans le même sens que ceux qu'on obtient par d'autres méthodes.

Les méthodes que nous venons de décrire se rapportent à divers phénomènes de transport mais on dispose aussi de méthodes thermodynamiques subordonnées à l'action de l'hydratation sur les propriétés des solutions ioniques à l'équilibre. Elles présentent l'avantage que leur théorie de base est mieux connue que celle des phénomènes de transport; par contre, les premières peuvent nous renseigner sur les interactions à proximité de l'ion tandis que l'étude d'une grandeur thermodynamique quelconque nous donne nécessairement une mesure globale de l'effet réciproque dans toutes les parties du système. La méthode thermodynamique la plus directe est issue de l'extraction de non-électrolytes par addition d'électrolytes. Si l'eau s'attache aux ions il en restera moins pour dissoudre le non-électrolyte et l'on pourra mesurer le degré d'hydratation en observant la diminution de la solubilité. Ce genre de raisonnement a été beaucoup employé, mais malheureusement les résultats varient suivant le non-électrolyte choisi et l'on doit en conclure que cette représentation simplifiée de l'extraction au sel est inexacte [8].

Une méthode d'attaque plus utile a trait aux propriétés de la solution d'électrolyte elle-même. L'application des propriétés colligatives, en particulier de la dépression du point de fusion, est très ancienne, et la plupart des mesures de l'hydratation de sels reposent sur les déviations observées de la loi de Raoult. En solution concentrée l'hydratation de particules dissoutes peut abaisser sensiblement la fraction moléculaire de l'eau libre, d'où ces déviations. D'autre part, toutes les solutions primitives de ce problème négligeaient toute autre source de déviation du comportement idéal, notamment les forces ioniques. Afin d'éviter l'invention absurde de nombres d'hydratation négatifs élevés pour les solutions diluées, il fallut introduire des «degrés de dissociation» factices, déduits généralement de mesures de la conductivité; ces valeurs initiales avaient forcément peu de sens. N. Bjerrum [9] le premier, a lié les forces interioniques et l'hydratation. La même idée a reparu dans les travaux de R. H. Stokes et R. A. Robinson [10] et d'E. Glueckauf [11], traitant des coefficients d'activité d'électrolytes (obtenus principalement à partir de mesures de points de fusion et de tensions de vapeur) sur une gamme étendue de concentrations.

Les deux raisonnements tiennent compte de l'attraction interionique développée à l'origine dans l'expression classique de Debye et Hückel. Tout écart de cette expression est attribué à l'élimination d'eau libre par l'hydratation des ions; l'interprétation détaillée des déviations diffèrent dans les deux théories. On est parvenu à reproduire les coefficients d'activité observés en fixant pour chaque ion un nombre d'hydratation indépendant de la concentration, et, dans le traitement de Glueckauf, indépendant aussi de l'ion de charge opposée auquel il est lié. La critique principale de ce traitement est que le terme d'hydratation devrait réellement contenir plusieurs autres facteurs, notamment la formation de paires d'ions et la variation de la constante diélectrique. Il n'en est pas moins vrai que l'hydratation assume un rôle prépondérant en solution concentrée. On a pu démontrer récemment [12] que l'élévation rapide de la fonction acide des acides forts avec la concentration peut être attribuée surtout à l'hydratation de l'ion hydrogène au-delà du stade H_3O^+.

Comme les molécules d'eau liées à un ion n'auront qu'une liberté restreinte, il est naturel qu'on examine les entropies ioniques en solution comme source de renseignements sur l'hydratation. Des données expérimentales mènent tout droit à des valeurs pour les entropies de sels dissous mais il est malaisé d'estimer les contributions respectives du cation et de l'anion: on a préconisé diverses méthodes mais les résultats finaux ne sont pas identiques [13]. Heureusement les incertitudes introduites sont minimes et n'infirment pas les valeurs relatives des entropies d'une série définie d'anions ou de cations. Les valeurs indiquent des variations qu'il est légitime d'attribuer à l'hydratation. Ainsi l'entropie devient négative tandis

que la charge ionique augmente ou que le rayon diminue, ce qu'illustrent les séries ci-dessous pour les entropies de solution:

$Na^+ + 14$, $Mg^{2+} - 32$, $Al^{3+} - 76$;
$Mg^{2+} - 32$, $Ca^{2+} - 11$, $Sr^{2+} - 7$, $Ba^{2+} + 2$;
$F^- - 2$, $Cl^- + 13$, $Br^- + 20$, $I^- + 25$.

Toutefois des difficultés considérables surviennent quand on essaie d'interpréter ces valeurs en fonction de l'hydratation ionique. Ceci se remarque de la manière la plus frappante quand on considère que la dissolution de deux atomes-grammes d'argon entraîne une perte d'entropie beaucoup plus grande (31 u.e.) que si l'on dissout du K^+ et du Cl^- gazeux pour donner du chlorure de potassium aqueux (23 u.e.). Donc, bien que la dissolution produise un état mieux ordonné dans chaque cas, celle des ions au lieu des atomes d'argon donne un niveau d'ordre moins élevé, ce qui va à l'encontre des prédictions de la théorie de l'hydratation.[1]

On remarque une multitude d'anomalies du même genre et le problème est loin d'être résolu, même qualitativement; mais il n'y a pas de doute qu'on en trouvera la clé dans la structure associée de l'eau elle-même que nous allons examiner brièvement.

LA STRUCTURE DE L'EAU EN FONCTION DE L'HYDRATATION IONIQUE

Si l'on compare les propriétés physiques de l'eau à celles d'hydrures apparentés, NH_3, H_2S et HCl, par exemple, on se rend compte que le point d'ébullition, la chaleur et l'entropie d'évaporation et la constante diélectrique sont toutes exceptionnellement élevées. On expliquera ces anomalies de façon qualitative en disant que l'eau liquide n'est pas constituée de molécules de H_2O simples mais qu'elle est hautement associée. Il y a longtemps que cela est admis et l'eau liquide était représentée comme un mélange de polymères H_2O, $(H_2O)_2$, $(H_2O)_4$, etc, dont les proportions dépendaient de la température et de l'addition de sels. A. Eucken et ses collaborateurs [14] ont repris cette idée récemment, mais la conception moderne est plutôt différente. J. D. Bernal et R. H. Fowler [15] firent observer en 1933 que les formes de diffraction aux rayons X de l'eau liquide ressemblent de près à celles de la glace, qui a une structure tétraédrique ouverte, maintenue par des ponts hydrogène; le liquide aurait donc selon eux une structure quasi cristalline. Des travaux plus récents suggèrent que le liquide se compose d'unités plus petites ou qu'il est plus flexible qu'on le croyait auparavant [16]; la chose certaine est qu'il règne un certain niveau d'ordre et qu'il est produit par les molécules dissoutes.

La présence d'un grand nombre de molécules dissoutes neutres favorise la stabilisation d'une structure ouverte et abaisse donc l'entropie. Dans le cas d'un ion nous devons nous représenter une zone intérieure où les molécules d'eau sont fortement orientées par la charge et entourée d'une zone de désordre où l'effet ordonnateur de l'ion et la structure incompatible tétraédrique de l'eau s'annulent dans l'ensemble. Nombre d'auteurs, notamment H. S. Franck et M. W. Evans [17], ont examiné ce problème en détail mais on ne pourrait affirmer qu'on soit déjà en mesure de subordonner les données d'entropie de façon élémentaire à l'hydratation primaire, l'un des facteurs en cause. Il en est de même de l'influence des ions sur la chaleur spécifique de l'eau, car cette propriété, tout comme l'entropie, est trop sensible pour qu'on puisse la rattacher directement au nombre d'hydratation.

Il est plus utile d'envisager l'action des ions sur le volume de l'eau, c'est-à-dire le volume apparent des ions dissous. Ces volumes apparents sont souvent moindres que ceux des cristaux et sont même négatifs pour des ions à charge multiple: ceci s'explique par le fait qu'une structure ouverte normale pour l'eau a été remplacée par un arrangement plus resserré des molécules autour de l'ion. Toutefois il est difficile de calculer la diminution de volume résultante et d'en déduire des valeurs absolues pour le nombre d'hydratation.

La compressibilité de l'eau, elle aussi, est amoindrie par les ions: l'explication la plus simple est de supposer que la couche d'hydratation primaire est déjà comprimée au maximum, le reste ayant donc sa compressibilité normale. Si l'on accepte cette hypothèse les nombres d'hydratation sont faciles à calculer et nous verrons ci-après certains des résultats obtenus. L'extension des méthodes ultrasoniques à la mesure de la compressibilité des liquides [18] a imprimé une impulsion nouvelle à l'application de cette méthode.

CONCLUSION

Il y a bien d'autres méthodes pour l'étude de l'hydratation des ions et la littérature est très fournie. On se rappellera que la conception du «nombre d'hydratation» n'est pas définie très

[1] La valeur numérique de l'entropie en solution dépend de l'étalon choisi. Celles données ici correspondent à une concentration d'une mole par litre, tant à l'état gazeux qu'en solution.

Nombres d'hydratation calculés

Ion	Méthode			
	Mobilité	Diffusion	Activité	Compressibilité
Li^+	5	3	3	4
Na^+	4	1	2	5
K^+	4	1	1	5
Mg^{2+}	12	—	5	12
Ca^{2+}	10	—	4	10
La^{3+}	13	—	8	18[1]
F^-	—	—	2	4
Cl^-	4	0	1	2
Br^-	2	1	1	1
I^-	1	1	1	1

[1] Valeur de Pr^{3+}.

précisément et que des méthodes différentes donneront différentes sortes de moyennes. Néanmoins, si l'on se limite aux propriétés que l'on peut normalement attendre de l'hydratation primaire, il y aura quelque accord entre les diverses méthodes, comme l'indique le tableau en haut. Les valeurs des auteurs indépendants sont quelque peu différentes; nous avons trouvé commode de les arrondir au chiffre supérieur.

La concordance des valeurs inscrites au tableau est loin d'être parfaite mais elle constitue un progrès par rapport aux nombres cités au premier paragraphe de cet article et les valeurs réelles sont logiques. Quand on les examine, et bien d'autres encore, on arrive aux généralisations suivantes:

(I) le nombre d'hydratation des cations augmente avec la croissance de la charge et avec la diminution de la taille;

(II) à l'exception de l'ion fluorure les anions sont moins hydratés que les cations.

On dispose de plusieurs méthodes techniques pour se renseigner sur l'état de l'eau au voisinage d'ions dissous, encore qu'elles n'aient été employées que dans des cas isolés. Ainsi l'échange isotopique au moyen d'^{18}O a montré que les molécules d'eau liées aux ions chromiques dissous ne sont remplacées que très lentement par le restant de l'eau: le nombre d'hydratation de cet ion fixé par cette méthode est de 6. Dans le cas d'autres ions examinés, l'échange était trop rapide pour être mesuré, mais des mesures de l'équilibre d'échange ont fourni certains renseignements sur l'hydratation [19]. De manière analogue, la résonance magnétique à protons nous renseigne sur l'environnement électrique des protons de la molécule d'eau et sur la manière dont il est modifié en présence d'ions dissous [20]. Pour finir, la structure fine des spectres d'absorption des ions de transition et des éléments de la famille du lanthane dépend de la symétrie géométrique de leur entourage: ceci a été étudié surtout dans le cas des cristaux, mais dans quelques cas on a pu en tirer des conclusions concernant la disposition des molécules d'eau qui enveloppent l'ion dissous [21]. Ces dernières méthodes sont nettement pleines de promesse pour les recherches à venir.

Pour nous résumer, nous dirons que le concept de l'hydratation ionique en solution est nécessaire pour expliquer les propriétés individuelles des ions dissous et aussi pour le comportement des solutions concentrées d'électrolytes en général. L'idée d'un nombre d'hydratation primaire fixe est une première approximation utile quand on s'occupe de plusieurs propriétés, mais pour approfondir le problème on doit tenir compte de la structure particulière de l'eau, en un mot, de son association, et de l'effet d'ions sur elle, même à l'extérieur de sa sphère d'hydratation primaire.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bockris, J. O'M. *Quart. Rev. chem. Soc., Lond.*, **3**, 179, 1949.
[2] Etude en *Trans. Faraday Soc.*, **3**, 1907.
[3] Born, M. *Z. Physik*, **1**, 45, 221, 1920.
[4] Washburn, E. W. *J. Amer. chem. Soc.*, **31**, 322, 1909.
[5] Longsworth, L. G. *Ibid.*, **69**, 1288, 1947.
[6] Robinson, R. A. et Stokes, R. H. «Electrolyte Solutions», pp. 293–330. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1955.
[7] Remy, H. *Z. phys. Chem.*, **89**, 469, 1915.
[8] Debye, P. et McAulay, J. *Ibid.*, **26**, 23, 1925.
[9] Bjerrum, N. *Z. anorg. Chem.*, **109**, 275, 1920.
[10] Stokes, R. H. et Robinson, R. A. *J. Amer. chem. Soc.*, **70**, 1870, 1948.
[11] Glueckauf, E. *Trans. Faraday Soc.*, **51**, 1235, 1955.
[12] Wyatt, P. A. H. et Bell, R. P. *Faraday Soc. Discussions*, **24**, 1957.
[13] Gurney, R. W. «Ionic Processes in Solution», pp. 172–86. McGraw Hill Publishing Co. Ltd., Londres. 1953.
[14] Eucken, A. *Z. Elektrochem.*, **52**, 255, 1948.
[15] Bernal, J. D. et Fowler, R. H. *J. chem. Phys.*, **1**, 515, 1933.
[16] Feates, F. S. et Ives, D. J. G. *J. chem. Soc.*, 2798, 1956.
[17] Frank, H. S. et Evans, M. W. *J. chem. Phys.*, **13**, 507, 1945.
[18] Barnartt, S. *Quart. Rev. chem. Soc., Lond.*, **7**, 84, 1953.
[19] Taube, H. *J. phys. Chem.*, **58**, 523, 1954.
[20] Shoolery, J. N. et Alder, B. J. *J. chem. Phys.*, **23**, 804, 1955.
[21] Sayre, E. V., Miller, D. G. et Freed, S. *Ibid.*, **25**, 109, 1957.

Le Palais de la Découverte

Il y a eu vingt ans cette année que ce musée scientifique, unique en son genre, a été fondé à Paris. Comme certains autres musées français, il doit son origine à une exposition internationale, dans ce cas celle de 1937. Le Palais était une annexe de cette exposition, conçue dans le dessein de faire voir aux visiteurs d'une manière frappante et avec le maximum de précision, certaines découvertes fondamentales de la science moderne. Le succès obtenu dépassa les prévisions: plus de deux millions de visiteurs en six mois. L'affluence était parfois telle qu'il fallut fermer les portes. La décision fut dès lors prise de faire du Palais de la Découverte un établissement permanent. Il rouvrit ses portes en juin 1938. Il relève du Ministère de l'Education Nationale, plus particulièrement de l'Académie de Paris dont le Recteur préside son conseil d'administration composé de vingt membres. Depuis, le Palais joue un rôle important dans la vie scientifique française, et a acquis une réputation internationale. On y a organisé des expositions spéciales d'objets empruntés à d'autres pays, notamment l'exposition de la péniciline en 1946 et l'exposition Chagas en 1955. En revanche il a souvent prêté ses propres trésors aux grands musées étrangers.

Il n'y a pas lieu de rappeler combien il est important pour la science que le public soit au courant de ses objectifs et de ses méthodes. Pour cela les moyens ne manquent pas: les journaux, les livres, la radio, la télévision, pour ne citer que ceux-là. Mais il y a aussi les musées et les expositions qui sont tout spécialement appropriés, car le visiteur y a l'occasion de voir et même de manier et faire fonctionner des appareils scientifiques. Les descriptions et les images renseignent certes, mais n'ont naturellement pas la valeur de présence de l'objet lui-même. Les cinquante-trois galeries du Palais contiennent une profusion de pièces destinées à donner une idée non seulement des principales sciences et des mathématiques, mais aussi de la médecine et de la chirurgie. Les modèles et les démonstrations s'accompagnent de descriptions, de figures, de photographies et, jusqu'à un certain point, de films, en couleurs autant que possible. Partout il y a un habile dosage de science et d'art qui reflète sans doute les goûts du conservateur. On a sans cesse recours à des pièces accessoires pour élucider certains points. D'autre part, un personnel nombreux et bien entraîné est à la disposition des visiteurs.

En 1952 un planétaire, un des plus beaux d'Europe, y fut installé. On ne se rend pas suffisamment compte de l'importance de tels appareils quand il s'agit d'intéresser le public aux questions astronomiques. La section astronomique est à la hauteur de l'intérêt que suscite le planétaire: une salle entière est consacrée à l'univers stellaire: d'immenses photographies et de nombreux modèles illustrent les principales caractéristiques de l'univers et il y a une section entière pour le Soleil. La Lune également est l'objet d'une attention spéciale, et les événements récents l'ont naturellement mise en vedette. Un grand globe lunaire a été construit à l'échelle de 1 mm au km. Il y a en outre une remarquable reconstitution d'un paysage lunaire et un modèle mécanique qui montre comment se produisent les éclipses.

Le Palais de la Découverte s'adresse à trois catégories de visiteurs. D'abord ceux parmi le grand public qui s'intéressent aux choses scientifiques; puis, les groupes culturels organisés, et enfin les écoliers accompagnés de leurs maîtres. Ce dernier groupe est le plus nombreux et le plus enthousiaste; certaines écoles organisent annuellement dix ou quinze visites. C'est que, pour elles, les démonstrations expérimentales du Palais sont précieuses, beaucoup de celles-ci n'étant pas à la portée de simples laboratoires scolaires. Environ quatre cents expériences sont effectuées journellement au Palais et, moyennant une semaine de préavis, deux cents autres pourraient être organisées.

En somme, le Palais de la Découverte est à la fois un merveilleux moyen de vulgarisation scientifique, un trait d'union entre le laboratoire et le public, et un établissement d'enseignement supérieur des sciences. Il est en outre, et surtout, un musée vivant, qui montre tous les domaines scientifiques d'intérêt actuel en plein développement, et non une collection d'objets appartenant au passé et d'un intérêt purement historique. Il y a néanmoins une section consacrée à l'histoire de la science, qui sert à relier le présent au passé et à donner le relief qui convient à l'élément moderne. Au cours des vingt années écoulées, une grande œuvre a été accomplie; espérons que l'avenir de cette institution qui vise à se tenir constamment à la hauteur des progrès vertigineux de la science, sera encore plus fructueux.

L'imperméabilité à l'eau

par N. K. ADAM

L'eau forme des gouttelettes sur des surfaces lisses si l'angle de contact dépasse 100°, mais les plus grands de ces angles ne dépassent guère 105°. Comme la plupart des surfaces absorbent l'eau lentement l'angle de contact et l'imperméabilité diminuent. Mais si l'on donne un caractère rugueux à la surface on augmente l'angle de contact; on a noté ainsi des angles allant jusqu'à 160° pour certaines surfaces ayant des poches d'air à intervalles réguliers. Ce phénomène a des conséquences pratiques importantes.

La possibilité de modifier une surface pour qu'elle repousse l'eau a une importance pratique sous plusieurs aspects. La nécessité d'imperméabiliser les surfaces va de soi dans le cas des tentes et des manteaux de pluie. La grande industrie de la flottation des minerais en est un exemple d'un autre type. Dans le procédé de flottation par mousse on ajoute des «collecteurs» en faible quantité à une suspension de minerai broyé dans l'eau; les particules des constituants désirés se recouvrent d'une pellicule qui repousse l'eau; ces particules s'attachent à de petites bulles d'air qu'on insuffle au sein de la suspension et remontent avec elles à la surface.

Un exemple moins bien connu peut-être est celui de la «condensation en gouttes»: si la surface froide d'un réfrigérant exposée à la vapeur est propre, la condensation se fera sous forme d'un film continu qui oppose beaucoup plus de résistance au transfert de chaleur que la seule surface du métal. On accroîtra le rendement d'un réfrigérant si l'on parvient à maintenir un film anti-eau sur la surface du réfrigérant, de sorte que la vapeur se condense en gouttes discontinues et que la surface est presque débarrassée du film d'eau. L'imperméabilité à l'eau est très importante aussi en biologie: la survie de bien des plantes et des animaux dépend de leur capacité de rejeter l'eau de leur surface.

La théorie du repoussement de l'eau pour les surfaces lisses est bien connue. Si l'angle de contact entre la surface liquide-air et le solide est θ, et γ_S, γ_L et γ_{SL} sont les tensions superficielles du solide, du liquide et de l'interface solide-liquide:

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos\theta \qquad \ldots.(1)$$

L'équation de Dupré relie le travail d'adhésion W_{SL}, soit le travail nécessaire par unité de surface pour séparer le liquide du solide, aux tensions superficielles:

$$W_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \qquad \ldots.(2)$$

De (1) et (2) il s'ensuit que

$$W_{SL} = \gamma_L(1 + \cos\theta) \qquad \ldots.(3)$$

On peut appeler cette équation celle de Young puisqu'elle fut donnée en toutes lettres et sans preuve dans l'*Essay on the Cohesion of Fluids* de Thomas Young, publié en 1805 [1]. Cette équation montre que l'angle de contact θ dépend des grandeurs relatives de l'adhésion du solide pour le liquide, W_{SL}, et de la cohésion propre du liquide, $2\gamma_L$. Pour une valeur donnée de la tension superficielle du liquide l'angle de contact augmente, tandis que l'adhésion entre le liquide et le solide diminue. Un angle de 180° indiquerait une adhésion nulle, ce qui est impossible puisqu'il y en a toujours un peu lorsqu'un liquide touche un solide, et l'on ne signale jamais d'angles de l'ordre de 180°. Notons que l'équation (3) est bien plus utile que l'équation (1) puisque la dernière contient deux tensions superficielles du solide γ_S et γ_{SL}, qu'il est impossible de mesurer avec précision.

On aura le maximum de repoussement d'eau lorsque l'angle de contact est aussi grand que possible. S'il dépasse 100° le liquide affecte la forme de gouttelettes distinctes qui se déplacent assez facilement sur la surface et dont on se débarrasse sans difficulté. Les angles de 105 à 110° pour l'eau sur une surface lisse sont les plus grands qu'on connaisse; on les obtient si des groupes méthyles forment le plus clair de la couche extrême. C'est le cas de la cire de paraffine. Avec le polyéthylène [2] on obtient un angle moindre (94°). On attribue d'ordinaire la différence entre les deux substances au fait que la cire consiste en groupes CH_3— tandis que la surface du polyéthylène—virtuellement une paraffine de poids moléculaire énorme—n'a presque rien que des groupes —CH_2—. L'angle de contact le plus grand qu'on ait trouvé entre l'eau et une surface lisse est de 110°; il s'agissait d'un cristal d'hexatriacontane purifiée soigneusement [2]. Cet angle

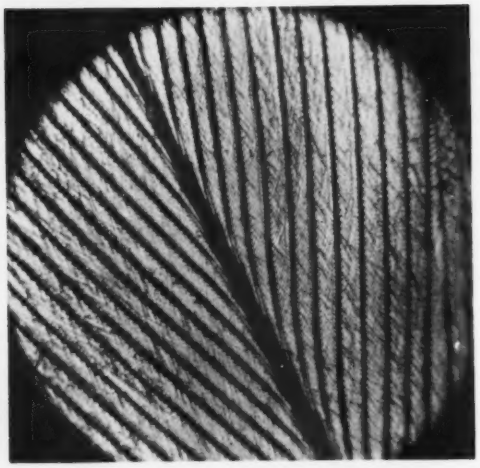


FIGURE 1 – *Plume de canard.*

FIGURE 2 – *Plume de canard, effilochée.*

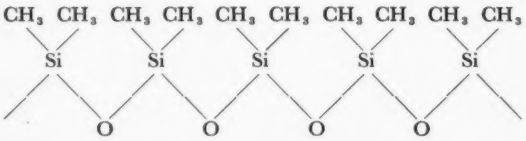
FIGURE 3 – *Feuille de* Salvinia, *vue plongeante.*

FIGURE 4 – *Protubérances de la feuille de* Salvinia, *de profil.*

indique une adhésion à l'eau de 48 erg/cm², ce qui correspond presque à celle de la paraffine liquide pour l'eau.

Les surfaces d'acides gras solides à longue chaîne présentent généralement un angle de 100 à 105°. Mais si l'on coupe au couteau une masse solide d'acide stéarique [3], l'angle peut se situer n'importe où de 50 à 105°. C'est parce que l'acide stéarique se compose de feuillets plans de deux molécules d'épaisseur avec les groupes carboxyles hydrophiles intercalés entre les longues chaînes carbonées. Si l'on découpe la masse parallèlement aux feuillets, seuls des résidus hydrocarbures seront exposés parce que l'attraction mutuelle des hydrocarbures est bien moindre que celle des carboxyles. Par contre, si le couteau traverse des feuillets, quelques groupes carboxyles sont dénudés, l'eau y est attirée plus fortement et l'angle de contact y est donc moindre qu'à la surface de l'hydrocarbure pur.

L'hydrophilie de groupes polarisés enfouis sous la surface ne s'exerce que sur une distance très restreinte. Des surfaces hydrophiles par nature deviendront aussi hydrophobes que la paraffine si on les enduit d'un film monomoléculaire constitué d'un acide gras à longue chaîne [4], d'une amine [5] ou d'un savon d'un métal lourd. Si l'on traite une surface avec une silicone



qui dépose un revêtement extérieur n'ayant qu'une couche de groupes méthyles entre l'eau et la structure —Si—O—Si—O—, l'angle de contact augmente tellement que l'eau se rassemble en petites gouttes au lieu de former un film.

Des rares observations publiées sur les angles de contact il semble que le remplacement des atomes d'hydrogène par le fluor abaisse l'hydrophilie. Le polytétrafluoréthylène (PTFE ou Teflon) a donné un angle de 108°, soit 14° de plus que le polyéthylène [6] et une couche monomoléculaire d'acide perfluorodécanoïque, $C_9F_{19}COOH$ sur du cuivre [7] a donné un angle de 102°. L'eau donnerait vraisemblablement un angle légèrement supérieur à 110° sur de la paraffine perfluorée.

Sur une surface lisse naturelle on ne devrait donc pas s'attendre à rencontrer un angle beaucoup plus grand que 105°. Cet angle devrait suffire pour donner une hydrophobie satisfaisante à condition qu'il puisse se maintenir longtemps au contact de l'eau ou exposé à une forte concentration de vapeur d'eau. Malheureusement l'eau pénètre quelque peu dans la plupart des solides, même dans la paraffine, et l'angle de contact diminue à une allure variable sur une surface mouillée de façon continue. Cet abaissement de l'angle de contact en présence d'eau est une des causes, sinon la seule, de ce qu'on a appelé «l'hystérèse» des angles de contact. L'angle «progressif» qu'on observe lorsque l'eau avance sur une surface sèche est plus grand que lorsque l'eau se retire d'une surface déjà mouillée, et la différence est parfois considérable. Pour obtenir une hydrophobie permanente il faut que l'angle récessif conserve une valeur élevée, de 90° au moins, de préférence, sinon l'eau aura tendance à coller comme un film plus ou moins continu au lieu de «perler» en gouttes mobiles capables de rouler sur la surface. Chacun a dû voir que les premières gouttes de pluie sont faciles à secouer de la plupart des tissus imperméabilisés; mais la surface se mouillera bientôt et finalement la pluie percera. Un angle de contact initial, même de 105 à 110° sur une surface lisse ne confère pas un facteur de sécurité suffisant pour garantir l'imperméabilité permanente.

Quelques plantes et des animaux surmontent la difficulté au moyen de surfaces à structures interrompues. On remarqua vers 1920 que si une surface lisse d'une substance déterminée donne un angle de contact de plus de 90°, une surface rugueuse présentera un angle de plus de 90°; inversement un angle aigu en surface lisse donne un angle aigu en surface rugueuse. Quand on augmente simplement la rugosité d'une surface on accentue la différence entre 90° et l'angle de contact naturel. R. N. Wenzel [8] a exprimé ce phénomène de façon quantitative; si r est le facteur de rugosité, c'est-à-dire le rapport de la surface réelle à la surface apparente, l'angle de contact $\bar{\theta}$ sur la surface rugueuse est donné par

$$\cos \bar{\theta} = r \cos \theta \qquad \ldots.(4)$$

où θ est l'angle d'une surface analogue lisse.

En 1944 A. B. D. Cassie et S. Baxter [9] ont développé une théorie relative aux angles de contact moyens ou apparents dans le cas de surfaces interrompues à intervalles réguliers par des canaux d'air, des plumes d'oiseaux par exemple. Ils furent à même d'expliquer pour la première fois la propriété hydrofuge des plumes du dos des canards: ces plumes, recouvertes d'une couche de cire, donnant un angle de contact d'un peu plus de 90°, ont en outre une structure spéciale que l'oiseau préserve en les nettoyant soigneusement.

Si le liquide touche réellement une surface totale solide de f_1 cm² et une surface totale d'air de f_2 cm² par cm² de surface apparente, l'angle de contact moyen $\bar{\theta}$ est donné par l'équation

$$\cos \bar{\theta} = f_1 \cos \theta - f_2 \qquad \ldots.(5)$$

θ est l'angle «vrai» pour une surface lisse ayant la même attraction pour l'eau que les parties solides de la surface mixte. L'équation (5) s'applique tant aux angles récessifs que progressifs.

On a calculé les fractions f_1 et f_2 pour des cylindres parallèles de diamètre $2r$ disposés régulièrement avec un espacement de $2(r + d)$ entre les centres; la figure 5 les montre en coupe. La figure 6 donne les angles progressifs moyens $\bar{\theta}_A$ en fonction de $(r + d)/r$ pour diverses valeurs de θ_A. Les angles récessifs $\bar{\theta}_R$ donnent des courbes similaires

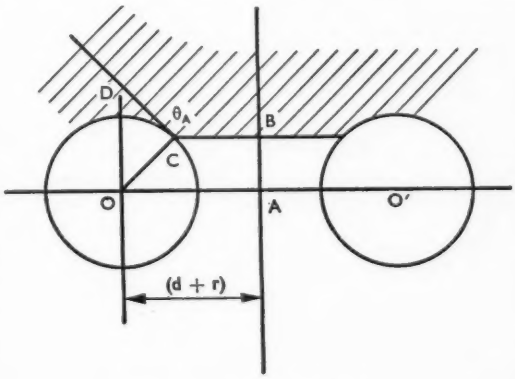


FIGURE 5 – *Calcul de f_1 et f_2.*

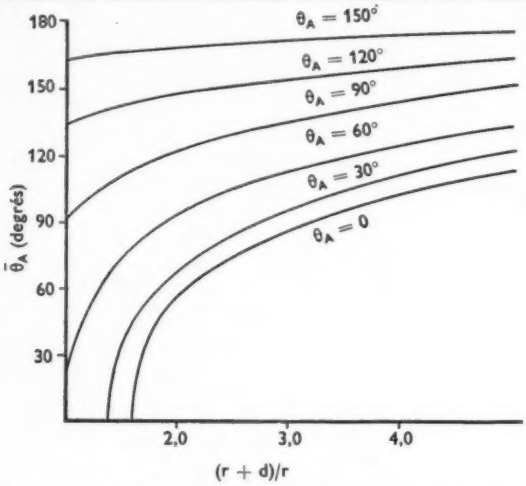


FIGURE 6 – *Valeurs de l'angle de contact moyen* $\bar{\theta}_A$ *pour diverses valeurs de* θ_A *et* $(r + d)/r$.

mais non identiques. Dans les deux cas l'angle augmente rapidement avec l'écartement des fibres. Dans le cas de fils parallèles de 0,07 mm de diamètre recouverts d'une paraffine qui avait en surface lisse des angles «réels» $\theta_A = 105°$ et $\theta_R = 93°$, on a obtenu des angles moyens $\bar{\theta}_A$ de 145° et $\bar{\theta}_R$ de 138°; l'écartement moyen des fils était le double du diamètre des fils. Les angles mesurés étaient très proches des valeurs calculées. Une caractéristique frappante des courbes de la figure 6 est le fait que les angles moyens dépassent souvent 90° même si les angles réels sont bien moindres. Les canaux d'air ont donc pour effet d'accroître l'angle de contact initial lorsque l'eau rencontre la surface pour la première fois, de sorte qu'elle s'égoutte beaucoup plus facilement; ils garantissent en outre une marge de sécurité. En effet l'angle de contact moyen, c'est-à-dire l'angle utile pour l'hydrophobie, conserve une valeur assurant une imperméabilisation convenable même si l'angle réel a été amoindri au contact prolongé de l'eau.

Il faut toutefois que les canaux soient espacés régulièrement et que les fibres et les intervalles soient petits, car s'ils sont trop grands la pression capillaire garantissant la résistance au passage de l'eau sera faible. La figure 1 est une microphotographie d'une plume de canard: on verra la structure resserrée mais régulière; la figure 2 montre les barbes et barbules effilochées alors qu'elles sont normalement entremêlées (figure 1). On retrouve une structure analogue pour les plumes de la plupart des oiseaux, mais le canard en prend un soin tout particulier. Les plumes de la poule domestique ont souvent un film qui recouvre les interstices: leur hydrophobie est donc diminuée. Les barbules de la plume de la poitrine du canard ont 8 μ de diamètre en moyenne et le rapport $(r + d)/r$ est de 5 environ. La tension superficielle de l'eau retenue sur la plume ne peut agglomérer les barbules parce qu'elles sont pourvues de crochets et d'encoches qui s'emboîtent.

La fourrure diffère absolument des plumes: les extrémités des fibres sont libres et l'humidité les colle en petites touffes compactes. Les espaces d'air sont donc éliminés et l'hydrophobie est alors celle d'une surface continue.

La plante aquatique *Salvinia* se débarrasse de son eau de façon plus efficace peut-être que le canard même. Les figures 3 et 4 montrent que la surface des feuilles est munie de projections dont l'extrémité est constituée d'une boucle de matière hydrophobe. L'eau n'arrive à toucher qu'une surface solide très limitée de la feuille, de sorte que dans l'équation (5) f_1 est très petit et f_2 est grand. Il en résulte que les feuilles semblent presque sèches quand on les retire de l'eau après une immersion même prolongée.

Certains insectes aquatiques utilisent le même principe pour séjourner indéfiniment sous l'eau en respirant l'oxygène dissous. Ils ont des poils hydrophobes très fins presque partout sur le corps. Ces poils sont peu inclinés à la verticale, même à leur extrémité, où ils sont recourbés à angle droit, et parallèles donc à la surface. Cette couche de poils emprisonne un volume d'air presque constant qui est toujours en contact avec la surface de l'insecte et avec l'eau. Ces poils et la couche d'air constituent le «plastron» qui fonctionne en tant que branchie physique bien qu'aucune membrane physique ne sépare l'air de l'eau. La structure et

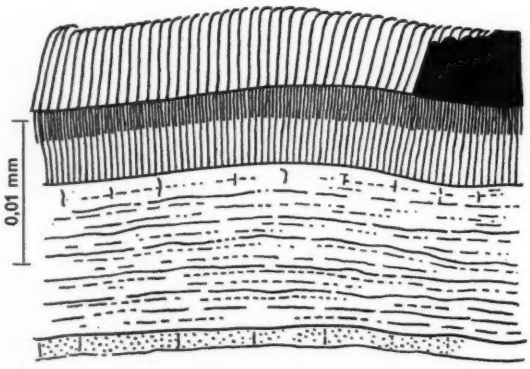


FIGURE 7 – *Plastron de l'*Aphelocheirus.

le fonctionnement du plastron ont été étudiés de très près par W. H. Thorpe et D. J. Crisp [10]. La figure 7 indique schématiquement la structure du plastron de la nèpe *Aphelocheirus aestivalis*. Les poils ont un diamètre de 0,18 μ environ et les intervalles sont de 0,4 μ, ce qui donne plus de 2 millions de poils par mm^2.

Il faudrait une pression de 2 atmosphères au moins pour faire passer l'eau à travers le fin tapis constitué par les extrémités des poils, et même si la tension superficielle et l'angle de contact étaient abaissés de façon appréciable par la présence d'une impureté tensio-active de l'eau, celle-ci aurait encore difficulté à pénétrer dans la couche d'air. La rigidité des poils empêche assez nettement la réduction du volume d'air du plastron. L'insecte respire en absorbant l'oxygène du plastron qui est remplacé par la diffusion d'oxygène de l'eau environnante. Le plastron permet donc à l'insecte de vivre presque indéfiniment sous l'eau. Il est beaucoup plus efficace que les bulles d'air que certains insectes s'attachent au corps. Ces bulles ne sont pas à l'abri des changements de pression et par conséquent elles diminuent tandis que l'oxygène passe dans le corps et l'azote dans l'eau. Ces insectes sont forcés de remonter à la surface de temps en temps pour se réapprovisionner en air ou de rechercher des bulles nouvelles sous l'eau.

Les poils minuscules de l'*Aphelocheirus* ont la disposition et la forme idéales pour conserver une couche d'air mince à volume constant. Si les poils étaient absolument perpendiculaires à la surface du corps sur toute leur longueur ils ne retiendraient l'air que tant que l'angle de contact de l'eau avec les poils resterait supérieur à 90°.

Ces considérations permettent d'entrevoir de nouvelles méthodes pour l'imperméabilisation des textiles. Ces perfectionnements dépendront normalement de deux facteurs. En premier lieu il faudra trouver des substances qui absorbent encore moins d'eau que les meilleurs agents actuels, de sorte que l'angle de contact reste assez élevé pour produire le perlage et non un film continu. D'autre part il faudra imaginer une structure où la position des fibres et des interstices soit conservée de façon si stable que les brins ne puissent être rassemblés, ce qui effacerait certains interstices, et agrandirait d'autres outre mesure.

REMERCIEMENT

Les figures 5 et 6 ont été reproduites d'après les *Transactions of the Faraday Society* et la figure 7 d'après le *Journal of Experimental Biology* grâce à l'amabilité de leurs Rédacteurs-en-chef.

BIBLIOGRAPHIE

[1] YOUNG, T. *Phil. Trans.*, **95**, 82, 1805.
[2] FOX, H. W. et ZISMAN, W. A. *J. Colloid Sci.*, **7**, 432, 1952.
[3] ADAM, N. K. et JESSOP, G. *J. chem. Soc.*, 1863, 1925.
[4] LANGMUIR, I. *Trans. Faraday Soc.*, **15**, 69, 1920.
BLODGETT, K. B. *J. Amer. chem. Soc.*, **56**, 495, 1934
[5] SHAFRIN, E. G. et ZISMAN, W. A. *J. Colloid Sci.*, **4**, 571, 1949; **7**, 166, 1952.
[6] FOX, H. W. et ZISMAN, W. A. *Ibid.*, **5**, 514, 1950.
[7] SCHULMAN, F. et ZISMAN, W. A. *Ibid.*, **7**, 470, 1952.
[8] WENZEL, R. N. *Industr. Engng Chem.*, **28**, 988, 1936.
[9] CASSIE, A. B. D. et BAXTER, S. *Trans. Faraday Soc.*, **40**, 546, 1944.
[10] THORPE, W. H. et CRISP, D. J. *J. exp. Biol.*, **24**, 227, 1947.

L'étude de la fécondation chez les mammifères à l'aide des indicateurs radioactifs

par R. G. EDWARDS et J. L. SIRLIN

Il est inutile de souligner l'importance de comprendre le développement des spermatozoïdes et de l'ovule ainsi que de l'embryon résultant de leur fusion. Toutefois, l'expérimentation en cette matière présente des difficultés considérables. L'utilisation d'indicateurs radioactifs permet de suivre les spermatozoïdes marqués dans l'ovule et d'étudier les interactions entre le noyau et le cytoplasme.

La connaissance des processus de fécondation et des premiers stades du développement embryonnaire chez les mammifères a considérablement augmenté depuis quelques années. De nouvelles techniques, telles l'examen au microscope à contraste de phase des œufs vivants et des embryons [1], ou encore l'incorporation dans les œufs et les ovaires de corps marqués radioactifs, révèlent un grand progrès sur les techniques antérieures. Le but de cet article est de montrer comment l'emploi des corps marqués pour l'étude de la gamétogenèse (la production de l'ovule et du spermatozoïde), de la fécondation et du développement embryonnaire contribue à la connaissance de la physiologie de la reproduction chez les mammifères. Ces études ont été faites en majeure partie sur la souris.

La principale technique utilisée pour déceler et situer les corps marqués incorporés dans les tissus a été l'autoradiographie. Sur les autoradiographies (figures 1–3), la localisation du corps marqué dans une cellule peut être résolue jusqu'à environ 2 μ. Ceci permet l'identification des cellules marquées par comparaison avec les cellules non marquées dans un même tissu. Certains corps marqués incorporés dans les cellules sexuelles en développement, soit dans l'épithélium séminifère du testicule, soit dans l'ovaire, sont retenus dans les cellules au cours de leur maturation en gamètes; c'est pourquoi il est possible de suivre l'évolution de la spermatogenèse dans le testicule ou de l'ovogénie dans l'ovaire. Les spermatozoïdes ou les ovules marqués qui résultent de ce processus peuvent alors servir à étudier la fécondation et le développement embryonnaire. L'interprétation des autoradiographies suffit pour l'étude détaillée de la répartition intracellulaire du corps marqué et par là même, la technique est devenue un outil important dans la biochimie cellulaire.

SPERMATOGENÈSE

Deux jours après une injection intrapéritonéale de phosphore-32 sous forme de phosphate à des souris mâles, le corps marqué dans le testicule se trouvait incorporé principalement dans les spermatogonies (premier stade de développement en spermatozoïdes) et resta dans les cellules au cours de leur évolution dans les stades successifs de la spermatogenèse [2]. Plus récemment, d'autres corps marqués, la méthionine-^{35}S [3] ou l'adénine-8-^{14}C [4, 5], ont été utilisés plutôt que le phosphore. L'adénine aussi se trouvait incorporée dans les spermatogonies très vite après l'injection [5], et peut également avoir passé dans les spermatocytes (stade suivant de la spermatogenèse), étant incorporée dans l'acide désoxyribonucléique (ADN) et la dernière synthèse de cet acide, au cours de la spermatogenèse, se produisant dans les jeunes spermatocytes [6]. La méthionine fut incorporée dans les spermatogonies et les spermatocytes [3]. Ces corps marqués, surtout l'adénine, étaient retenus par les cellules pendant tout le processus de spermatogenèse [2–5] et ainsi il était possible d'enregistrer les progrès de la spermatogenèse à l'aide des autoradiographies des testicules des souris mâles sacrifiées à différents moments après l'injection du corps marqué.

Voici les résultats obtenus par cette méthode: 5 jours à partir des spermatogonies les plus mûres jusqu'à la première prophase méïotique (spermatocytes) [5]; 8 jours jusqu'aux premières spermatides [5]; 18 à 25 jours jusqu'aux spermatozoïdes libres dans le testicule et l'épididyme [3–5], et 30 jours jusqu'aux spermatozoïdes éjaculés [4, 7]. Ce dernier résultat fut obtenu en accouplant, à intervalles réguliers, des mâles ayant reçu une injection d'adénine et en faisant des autoradiographies des spermatozoïdes éjaculés. Ces autoradiographies furent négatives (pas de corps

FIGURE 1 – *Autoradiographie de spermatozoïdes de souris marqués avec l'adénine-8-^{14}C. Les grains photographiques peuvent se voir dans l'émulsion au-dessus des têtes de spermatozoïdes; les grains ne sont pas tous au point.* (× 900)

marqué décelable dans les spermatozoïdes) jusqu'à environ 30 jours après l'injection d'adénine. Les spermatozoïdes marqués, c'est-à-dire les spermatozoïdes donnant une autoradiographie positive (voir figure 1) se trouvent en quantité croissante à partir du 30ème jour après l'injection d'adénine, le maximum étant atteint le 38ème jour et leur nombre décroissant ensuite régulièrement [4, 7]. Cette augmentation est probablement due au nombre croissant de spermatogonies se marquant pendant quelques jours après l'injection [5, 7].

Les spermatozoïdes peuvent être marqués avec du formiate-^{14}C, mais ce moyen est beaucoup moins efficace que l'adénine [7]. La glycine et la méthionine ne marquent pas les spermatozoïdes isolés de manière suffisante pour l'interprétation [7]. La différence entre l'adénine et les autres indicateurs doit tenir au fait que, dans les spermatozoïdes mûrs, l'adénine est principalement incorporée dans l'acide désoxyribonucléique qui est relativement abondant et reste métaboliquement stable après la méïose. Un peu d'adénine pourrait aussi s'incorporer dans la partie intermédiaire du spermatozoïde, en très petites quantités par comparaison avec la tête [7].

C'est pourquoi la méthode du marquage est utile pour estimer les intervalles entre la spermatogonie et les derniers stades de la spermatogenèse. Du fait que les indicateurs sont incorporés dans les trois types de spermatogonies (A, intermédiaire, B), ils n'ont pas une utilité directe pour enregistrer le développement des différents types. Toutefois, l'on dispose d'autres méthodes d'évaluation de ces intervalles. Les différents types de cellules de l'épithélium séminifère ne se présentent pas au hasard mais en associations caractéristiques, et la durée relative de chaque association de types de cellules a pu être estimée en déterminant leur fréquence [8]. Les durées absolues ont été estimées en soumettant aux rayons X des souris mâles et en étudiant l'évolution, dans l'épithélium séminifère, des troubles progressifs consécutifs à cette irradiation. Les spermatogonies B sont relativement les plus aisément détruites par les rayons X et ceci entraîne une disparition progressive des prochains stades de la spermatogenèse dans l'épithélium séminifère [9, 10]. Il a été possible de calculer le temps pris par chaque type de spermatogonie pour arriver à maturation ainsi que la durée des derniers stades de la spermatogenèse en sacrifiant des souris mâles à différents moments après l'irradiation et en trouvant ainsi les associations cellulaires à partir desquelles certaines étapes de la spermatogenèse ont été éliminées. Le fait que l'irradiation puisse retarder la spermatogenèse, bien que probablement pas de façon excessive, est un inconvénient.

Par la méthode de l'irradiation aux rayons X, il a été possible d'estimer à 34,5 jours chez la souris [10] le laps de temps entre le développement des spermatogonies A et l'apparition des spermatozoïdes libres dans le testicule; les intervalles entre les différents stades de la spermatogenèse ont pu aussi être mesurés. Il y a une concordance approximative entre les résultats obtenus de cette manière et ceux obtenus avec les indicateurs radioactifs [7]. En combinant les résultats des deux méthodes, la durée totale du cycle spermatogène — de la spermatogonie A à l'éjaculation — a été estimée à 42 jours [7].

La mesure du temps relatif des associations cellulaires dans l'épithélium séminifère du bélier [11] a été combinée avec la technique du corps marqué radioactif [12]. Cette combinaison réduit la possibilité d'un retard dû à l'irradiation dans la spermatogenèse, en particulier si on emploie des corps marqués émettant des rayons mous. D'après les calculs, la prohpase de la première méïose chez le bélier dure 15 jours, la spermiogenèse 14 jours, et la durée totale de la spermatogenèse est de 49 à 51 jours [12]. Après injection de phosphore-32 à des coqs, la radioactivité atteint un maximum, dans le plasma séminal, après une semaine [13] et, dans les spermatozoïdes, après deux semaines [13] ou plus [14].

UTILISATION DES SPERMATOZOÏDES MARQUÉS

Les spermatozoïdes marqués facilitent l'étude du destin des spermatozoïdes dans l'appareil reproducteur femelle car leur présence peut être décelée par autoradiographie même s'ils ont perdu leur aspect typique et ne sont pas identifiables au

microscope. Dans les ovules de souris fécondés par des spermatozoïdes marqués, seul l'un des deux pronucleus était marqué [15]: c'était sans doute le pronucleus mâle, et cette identification a confirmé les résultats des précédentes publications sur la morphologie des pronucleus mâle et femelle. Un corps marqué qui fut trouvé dans le cytoplasme de ces ovules a provisoirement été attribué à un largage lors de l'entrée du spermatozoïde dans l'ovule [15]. Les chromosomes mâles purent être identifiés par leur autoradiographie dans la prophase de la reproduction sexuée [7]. La présence de spermatozoïdes marqués fut aussi révélée entre les cellules en amas qui entourent les ovules [15].

Certains ovules, soit normalement, soit après traitement expérimental, ne possèdent pas deux pronucleus après la fécondation. Dans un ovule qui renfermait trois pronucleus, deux de ceux-ci étaient marqués et l'ovule était par conséquent disperme [15]. Ceci illustre la valeur des spermatozoïdes marqués dans l'identification des pronucleus, quoique le nombre de pronucleus mâles et femelles puisse généralement être aisément déterminé en comptant au microscope à contraste de phase le nombre de queues de spermatozoïdes dans l'ovule vivant. Toutefois, dans les ovules n'ayant qu'un seul pronucleus, l'identification de celui-ci se fait plus aisément à l'aide du spermatozoïde marqué, car il est difficile d'obtenir ces précisions à partir d'ovules vivants.

Si quelques-uns parmi les nombreux spermatozoïdes en excès qui n'ont pas fécondé les ovules de la femelle remplissent néanmoins une fonction utile — c'est-à-dire, s'ils pénètrent dans l'utérus, les trompes de Fallope ou autres tissus et en deviennent partie intégrante (fécondation somatique) — l'autoradiographie doit y déceler leur présence. Toutefois, aucune autoradiographie positive de l'un ou l'autre de ces tissus chez la souris n'a jusqu'à présent révélé la présence de spermatozoïdes [7], ce qui fournit encore une preuve à appui de l'existence de la fécondation somatique [16]. Un grand nombre de ces spermatozoïdes en excès sont enlevés de l'utérus par les leucocytes; dans un examen du contenu de l'utérus de femelles préalablement accouplées à des mâles ayant reçu une injection de corps marqués, ou a vu des spermatozoïdes marqués ingérés par les leucocytes [7]. On ne put cependant, déceler de spermatozoïdes à l'intérieur de certains leucocytes qui étaient marqués; il est donc probable que les spermatozoïdes ingérés avaient été détruits.

Les spermatozoïdes ne forment qu'une petite fraction de l'éjaculat, la masse étant constituée par le plasma séminal. En injectant d'autres corps marqués à des mâles (glycine-2-^{14}C, méthionine-^{35}S), le plasma séminal était marqué sans toutefois qu'il y ait marquage appréciable des spermatozoïdes [17]. Le plasma séminal marqué ne fut éjaculé que pendant quelques jours après l'injection des corps marqués et son activité décrut considérablement 10 jours après l'injection [17]. Le plasma séminal marqué put être utilisé dans des expériences semblables à celles décrites

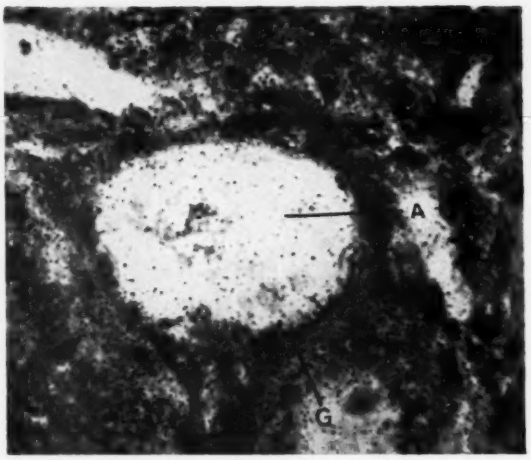


FIGURE 2 – *Autoradiographie d'une coupe d'ovaire de souris marqué avec la glycine-2-^{14}C. La couche granuleuse (G) et, moins fortement, un jeune ovocyte (A) sont marqués. (Reproduit avec l'aimable autorisation des éditeurs des* Proceedings of the Second World Congress on Fertility and Sterility, *Naples*, 1956). (× 900)

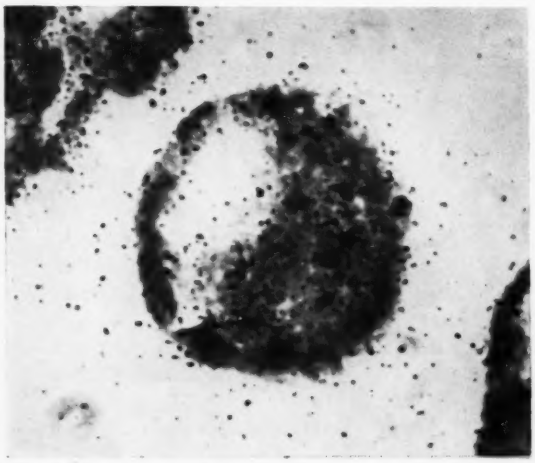


FIGURE 3 – *Autoradiographie d'une coupe de blastocyste de souris marqué avec la glycine-2-^{14}C.* (× 1 300)

ci-dessus pour les spermatozoïdes marqués et la répartition des deux constituants de l'éjaculat dans le tract femelle put ainsi être étudiée comparativement. On n'a pas trouvé jusqu'ici de preuve convaincante de la présence de corps marqués dans les ovules de femelles accouplées à des mâles qui éjaculaient du plasma séminal marqué, soit que celui-ci n'ait pas pénétré dans l'ovule, soit qu'il y ait pénétré en quantités trop petites pour être identifié avec précision par autoradiographie [17].

MATURATION DE L'OVULE

La physiologie de l'ovaire et de l'ovocyte a pu être étudiée en détails grâce à l'utilisation des corps marqués. Les cellules granuleuses de la lapine, de la ratte et de la souris femelle incorporent en grande quantité (figure 2) le phosphore-32 [17–20], la glycine-2-^{14}C [17], l'adénine-8-^{14}C [17], le sulfate-^{35}S [21–24] ou la méthionine-^{35}S [24], du fait d'une vitesse caryocinétique élevée [20, 25] et de la fonction sécrétoire de ce tissu. Les follicules atrésiques incorporent moins de corps marqués que les follicules normaux [18, 20, 22]. Les autoradiographies révèlent la position des corps marqués, atomes de phosphore et glycine, incorporés dans les protéines et les acides nucléiques; de l'adénine dans les acides nucléiques; de la méthionine dans les protéines, et des sulfates principalement dans les muco-saccharides. Le ^{32}P incorporé se retrouve soit dans l'ADN, soit dans l'ARN [17, 20]. Une grande prudence est à conseiller pour interpréter les données résultant du seul ^{32}P, car les doses nécessaires pour obtenir les autoradiographies lèsent inévitablement les tissus.

L'incorporation de phosphore, adénine et glycine dans la couche granuleuse est très élevée 36 heures après injection de corps marqué à des femelles, mais elle diminue rapidement en quelques jours [17]. Le phosphore et la glycine, non l'adénine, marquent jusqu'à un certain point le liquide folliculaire; d'après cette différence et d'après la vitesse de perte de corps marqué par ce fluide, il a été possible de conclure que ce fluide est en équilibre avec le sérum [17, 26]. Le sulfate-^{35}S est sécrété en grande quantité dans le liquide folliculaire, probablement sous forme de sulfo-mucopolysaccharide [27] après qu'il s'est accumulé dans la couche granuleuse [22–24]. La quantité de ^{35}S incorporée dépend de l'activité physiologique de l'ovaire, celle-ci croissant dans le liquide folliculaire si les follicules ovariens sont stimulés par l'apparition de la puberté ou par des injections de gonadotrophines, cette réaction pouvant avoir une valeur dans le titrage biologique des substances folliculo-stimulatrices [28]. A l'ovulation, le ^{35}S quitte le follicule de la lapine avec le liquide folliculaire et se trouve probablement contenu dans les mucines qui prennent part à l'ovulation et au déplacement des ovules le long des trompes de Fallope [27]. Le sulfate ne s'accumule pas dans les cellules du corps jaune de la lapine [29] ou de la ratte [22], quoique le tissu conjonctif en croissance des corps jaunes mûrs et âgés chez la lapine en incorporent respectivement des quantités moyennes et élevées [29].

L'ovocyte retient moins le corps marqué que la couche granuleuse (figure 2) mais permet tout de même l'étude détaillée de la répartition du corps marqué dans les divers constituants de la cellule. Trois heures après injection de phosphore, glycine ou adénine dans la souris, il se trouvait de petites concentrations de corps marqué dans le cytoplasme, une plus grande quantité dans le noyau et la paroi nucléaire, et de grandes quantités dans la nucléole et sa paroi [17, 19]. Ces observations cytochimiques concordent avec les théories sur les endroits de la cellule où se font la synthèse des protéines et des acides nucléiques. Si l'examen est fait plus longtemps après l'injection, on relève une activité plus grande dans le cytoplasme de l'ovocyte, due probablement à la couche granuleuse [17]. Chez la lapine, le phosphore était concentré à la périphérie de l'ovule, peut-être dans la membrane vitelline [31], quoique ce phénomène soit plus rare dans l'ovocyte de souris [19]. Les trompes de Fallope de la lapine sécrétaient de fortes quantités de ^{35}S (injecté sous forme de sulfate) combiné aux mucines qui renforçaient le marqueur déjà présent sur les membranes de l'œuf [22, 24, 32]. Une partie du soufre-35 se trouvant dans les tissus pouvait y être sous la forme de composés sulfhydryles [32].

Contrairement à celui des spermatozoïdes, le marquage des ovules de souris ne restait décelable que peu de temps après l'injection des corps marqués [17]. Cette différence — due probablement au fait que le marquage des ovules se fait sur un système chimique plus labile qui ne retient que peu de jours le corps marqué — rend impossible de suivre le développement de générations particulières d'ovules, ainsi qu'il fut fait avec les spermatozoïdes, et la technique jusqu'à présent n'a pu être employée pour étudier les temps des diverses phases de l'ovogenèse. Néanmoins, la quantité considérable de marqueur incorporée dans les œufs ovulés avant la fécondation a été

utile pour étudier la fécondation et la croissance embryonnaire.

DÉVELOPPEMENT DES ŒUFS MARQUÉS

Les œufs marqués ont été utilisés pour l'étude de quelques aspects de la fécondation et de la croissance embryonnaire. Après injection à des souris d'adénine-8-^{14}C [17], de glycine-2-^{14}C [17], de phosphore 32 [17] ou de méthionine-^{35}S [33] douze heures avant l'ovulation, on put constater une activité considérable dans les œufs ovulés. Lorsque des œufs marqués sont fécondés par des spermatozoïdes non radioactifs, tous les corps marqués radioactifs des pronucleus doivent provenir de l'œuf. Dans les ovules de souris, les pronucleus mâle et femelle possédaient chacun environ la même quantité de corps marqué [17], les cytoplasmes de l'œuf ayant apparemment contribué à la croissance du pronucleus mâle. Dans ces œufs pronucléés, le corps marqué était concentré dans le cytoplasme près de la paroi nucléaire, indiquant, soit une synthèse renforcée à ce point, soit la migration de produits nucléaires, soit les deux; ceci étaye les observations déjà faites sur des autoradiographies d'embryons d'amphibies et de poussins [30]. Ainsi se forme-t-il une image générale de la synthèse des protéines et des acides nucléiques, valable, semble-t-il, pour diverses classes animales. Dans la majorité des œufs pronucléés, environ un quart de l'œuf avait une activité inférieure au reste [17]; ce quart pourrait correspondre à la zone vacuolée qui, sur examen cytochimique [34], ne renferme pas d'ARN et se trouve d'un côté de l'axe polaire.

Les ovules de souris marqués à la glycine ou la méthionine ont été étudiés sur coupes à différents moments au cours de leur évolution depuis le stade bicellulaire jusqu'aux blastocystes [17, 33]. Au cours de ces divers stades, on a pu recueillir des renseignements sur la répartition intracellulaire du corps marqué. La distribution progressive de l'ARN décelable par les méthodes cytochimiques [34] dans les étapes entre les ovules bicellulaires et les morulas ne put être identifiée d'après la répartition du marqueur dans les ovules marqués à la glycine [17], mais cette courbe pourrait bien avoir été obscurcie par l'incorporation de la glycine dans des corps autres que l'ARN. Les œufs marqués et les embryons ont été transplantés dans les utérus de femelles portant leurs propres embryons du même âge et chez des femelles n'ayant pas d'embryons [17, 33] afin d'essayer d'identifier les embryons radioactifs transplantés et de les différencier des embryons non radioactifs de l'hôte aux derniers stades de la gestation. Les embryons marqués étaient reconnaissables au stade bicellulaire [33], avaient suffisamment d'activité restante pour l'identification sous forme de blastocystes après 3 jours et demi de gestation [17] (figure 3), mais n'étaient plus identifiables après 7 jours et demi de gestation parce que le marqueur était trop flou pour donner une autoradiographie [17]. Le marquage des embryons permet donc d'identifier après 3 jours et demi de gestation les origines maternelles de deux types d'embryon dans le même utérus, ce qui est, sans cette technique, extrêmement difficile.

Une autre méthode de marquage des ovules de souris a été essayée [17]. De petites quantités de glycine-2-^{14}C furent injectées par le col dans l'utérus de souris femelles superovulées au moment de l'ovulation; puis les souris furent accouplées. Les ovules fécondés récupérés étaient marqués; le marqueur pouvait avoir pénétré les œufs soit avec les spermatozoïdes, soit par absorption au cours du passage au travers des trompes de Fallope. Quelques preuves sont en faveur de cette dernière hypothèse, du fait que les blastocystes étaient plus fortement marqués que les œufs pronucléés ou bicellulaires; c'est à quoi il faudrait s'attendre si un séjour continu dans les trompes entraînait l'adjonction d'une quantité additionnelle de marqueur. L'activité dans les embryons était toujours moindre que celle trouvée après injection intrapéritonéale de corps marqués à des femelles, bien que les quantités de corps marqué injectées par le col aient été plus petites [17]. Ces résultats montrent la possibilité de marquer les embryons *in vitro* en utilisant de petites quantités de marqueur.

Chaque grain visible sur l'autoradiographie représente essentiellement la radiation émise par la désintégration d'un atome radioactif. Cette radiation, naissant dans la cellule elle-même ou dans son voisinage, pourrait produire des modifications génétiques dans chaque cellule de l'embryon. De plus, après désintégration, un atome s'est changé en un atome d'un élément chimique différent et ce nouvel élément, produit avant ou après incorporation dans les chromosomes, pourrait produire des mutations ou des aberrations chromosomiques. Après l'injection du marqueur dans des femelles, les embryons marqués au sulfate [35], à la méthionine [33], à la glycine [36], ou à l'adénine [36], se sont développés jusqu'à la naissance et la maturité, tous étant apparemment normaux. La progéniture de ces animaux, élevée en vue de l'étude des mutations récessives

provoquées, était normale également mais l'expérience a été faite sur trop petite échelle pour prouver l'absence de mutations induites [36]. Ces marqueurs, émettant des rayons mous, ne perturbèrent pas les mères [35, 36] mais, sur un autre plan, des troubles radiologiques, de nature plus physiologique que génétique, ont été souvent enregistrés lors de l'utilisation de marqueurs émettant des rayons durs tels l'iode-137 [37, 38] et le phosphore-32 [36]. Si le ^{32}P, à des doses relativement faibles, entraîne une maladie des rayons chez la mère et la suppression totale de progéniture, des doses plus élevées arrêtent le développement embryonnaire après 3 jours et demi de gestation [36].

CONCLUSION

Cet article explique comment les derniers travaux sur les corps marqués radioactifs et les autoradiographies ont élargi le champ des connaissances sur la maturation des gamètes et les premiers stades du développement des mammifères, en particulier la souris. La technique du marqueur radioactif, appliquée dans les recherches sur les mammifères de laboratoire, a été étendue aux mammifères domestiques [11–14], et ce, malgré le prix des marqueurs qui rend une étude poussée sur ces animaux assez coûteuse. Des adaptations moins onéreuses de cette technique seraient pour cela désirables. Comme exemple de technique moins chère, les ovules de souris et les embryons ont été marqués *in situ* par injection dans l'utérus et les trompes de Fallope de solutions renfermant moins de corps marqué qu'il n'en faut pour marquer les ovocytes ovariens par injections intrapéritonéales [17]. Il est possible qu'on réussisse un jour à marquer des spermatozoïdes de mammifères [39] et des ovules, soit *in vitro*, soit en injectant des marqueurs dans les testicules et les ovaires.

Nous tenons à remercier le Professeur C. H. Waddington, F.R.S., qui s'est intéressé à nos travaux ainsi que le Dr. R. A. Beatty et Miss R. E. Fowler pour leurs très utiles observations.

BIBLIOGRAPHIE

[1] AUSTIN, C. R. et SMILES, J. *J. R. micr. Soc.*, **68**, 13, 1948.
[2] HOWARD, A. et PELC, S. R. *Brit. J. Radiol., N. S.*, **23**, 634, 1950.
[3] GLUCKSMANN, A., HOWARD, A. et PELC, S. R. *J. Anat.*, **89**, 13, 1955.
[4] SIRLIN, J. L. et EDWARDS, R. G. *Exper. Cell Res.*, **9**, 596, 1955.
[5] PELC, S. R. et HOWARD, A. *Ibid.*, **11**, 128, 1956.
[6] SWIFT, H. H. *Physiol. Zoöl.*, **23**, 169, 1950.
[7] SIRLIN, J. L. et EDWARDS, R. G. *Nature, Lond.*, **179**, 725, 1957, et sous presse.
[8] LEBLOND, C. P. et CLERMONT, Y. *Amer. J. Anat.*, **90**, 167, 1952.
[9] OAKBERG, E. F. *Radiation Res.*, **2**, 369, 1955. *J. Morph.*, **97**, 39, 1955.
[10] OAKBERG, E. F. *Amer. J. Anat.*, **99**, 391, 507, 1956.
[11] ORTAVANT, R. *C. R. Soc. Biol., Paris*, **198**, 1958, 1954.
[12] *Idem. Arch. Anat. micr. Morph. Exper.*, **45**, 1, 1956.
[13] LORENZ, F. W., CAVOULAS, M. et CARSON J. D. *Poult. Sci.*, **29**, 769, 1950.
[14] TAKEDA, A. *Sci. Bull., Fac. Agric., Kyushu Univ.*, **15**, 391, 1955.
[15] EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L. *Nature, Lond.*, **177**, 429, 1956.
[16] VOJTÍŠKOVÁ, M. *Folia Biol., Prague*, **2**, 293, 1956. POSALAKY, Z. et TÖRŐ, I. *Nature, Lond.*, **179**, 150, 1957.
[17] EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L. *Proc. 2nd Wld Congr. Fertility and Sterility. Naples.* 1956.
[18] ODEBLAD, E. *Exper. Cell Res.*, **2**, 574, 1951. *Acta radiol., Suppl.*, p. 93, 1952.
[19] ODEBLAD, E. et MAGNUSSON, G. *Acta endocr., Copenhague*, **17**, 290, 1954.
[20] LEBLOND, C. P., STEVENS, C. E. et BOGOROCH, R. *Science*, **108**, 531, 1948.
[21] ODEBLAD, E. *Exper. Cell Res.*, **3**, 694, 1952.
[22] BOSTRÖM, H. et ODEBLAD, E. *Acta endocr., Copenhague*, **10**, 84, 1952.
[23] ODEBLAD, E. et BOSTRÖM, H. *Acta radiol.*, **39**, 137, 1953.
[24] MORICARD, R. et GOTHIÉ, S. *C. R. Soc. Biol., Paris*, **199**, 1918, 1955. *3rd Internat. Congr. Animal Reproduction, Cambridge*, Sect. 1, 31, 1956.
[25] BULLOUGH, W. S. *J. Endocr.*, **3**, 150, 1942.
[26] BRAMBELL, F. W. R. «Physiology of Reproduction» (Marshall), Vol. 1, pp. 447–48. A. S. Parkes (publié par). Longmans, Green & Co., Londres. 1956.
[27] ODEBLAD, E. *Acta endocr., Copenhague*, **15**, 313, 1954.
[28] NATI, G. et ODEBLAD, E. *Ibid.*, **19**, 43, 1955.
[29] ODEBLAD, E. *Ibid.*, **11**, 306, 1952.
[30] SIRLIN, J. L. et WADDINGTON, C. H. *Exper. Cell Res.*, **11**, 197, 1956.
[31] AMINOFF, U., MAGNUSSON, G., ODEBLAD, E. et WETTERDAL, K.-H. *Ibid.*, **3**, 609, 1952.
[32] GOTHIÉ, S. et MORICARD, R. *C. R. Soc. Biol., Paris*, **199**, 2084, 1953.
[33] LIN, T. P. *Nature, Lond.*, **178**, 1175, 1956.
[34] DALCQ, A. M. *Rev. gén. Sci. pur. appl.*, **61**, 19, 1954.
[35] ODEBLAD, E. et BOSTRÖM, H. *Acta radiol.*, **41**, 525, 1954.
[36] EDWARDS, R. G. et SIRLIN, J. L. (Inédit.)
[37] RUGH, R. *J. exper. Zool.*, **122**, 151, 1953.
[38] HUMPHREYS, E. M. *J. Endocr.*, **12**, Suppl., p. VIII, 1955.
[39] BISHOP, D. W. «Studies on Testis and Ovary, Eggs and Sperm». E. T. Engle (publié par). C. C. Thomas, Springfield, Illinois. 1952.

Revue des livres

MATHÉMATIQUES

GOULD, S. H.: *Variational Methods for Eigenvalue Problems*. Pp. XIV + 179. University of Toronto Press, Toronto; Oxford University Press, Londres. 1957. 48s.

Cette œuvre fait l'exposé des méthodes de Rayleigh-Ritz et Weinstein pour le calcul approché des valeurs propres. On peut considérer les valeurs propres d'équations différentielles elliptiques en physique mathématique soit comme des valeurs possibles d'un paramètre dans l'équation même, soit (ce qui revient au même au point de vue variation) comme des maxima et minima de certaines expressions. L'avantage de la méthode des variations, sujet de l'ouvrage du Professeur Gould, est de permettre très facilement de convertir un problème donné en un autre similaire et soluble.

Une fois que le problème donné est posé sous cette forme, on peut faire deux choses: soit introduire des conditions plus strictes et trouver les valeurs minima du paramètre dans le nouveau problème (ce qui donne les limites supérieures des valeurs propres de l'ancien problème et est en essence la méthode Rayleigh-Ritz), soit réduire les conditions prescrites de façon à obtenir les limites inférieures des valeurs propres voulues. C'est la méthode de Weinstein. La combinaison des deux méthodes limitera étroitement les valeurs.

Le Professeur Gould fait un exposé clair et systématique des concepts en question, développant presque toutes les mathématiques nécessaires. En dépit de sa rigueur extrême, l'ouvrage se lit avec une facilité rarement égalée par les volumes précédents de la série. C'est avec plaisir que nous le recommandons vivement aux débutants comme aux étudiants avancés.

A. SALAM

ASTRONOMIE

DE VAUCOULEURS, G.: *Discovery of the Universe*. Pp. 328. Faber and Faber Ltd., Londres. 1957. 30s.

On ne se douterait pas d'après le titre qu'il s'agit ici d'une histoire courte, mais complète, de l'astronomie avec tous les progrès récents. L'auteur a fait preuve de grand discernement dans le choix des sujets pour effectuer la condensation nécessaire en quelque 300 pages. L'évolution des idées prend le pas sur les détails biographiques.

La première partie traite de la période allant jusqu'au milieu du XIXe siècle, période assez facile à traiter chronologiquement en raison du nombre relativement réduit de savants ayant fait des apports importants au développement des idées. Mais, à partir de cette date, les progrès ont été si rapides qu'il est plus commode d'examiner tour à tour les divers aspects du sujet. La seconde partie du volume est divisée presque également entre la période allant du milieu du XIXe siècle à la seconde guerre mondiale et celle écoulée de 1945 à nos jours.

Cette dernière section s'efforce de traiter un champ très vaste et le texte donne presque l'impression d'un catalogue de recherches diverses, ce qui lui enlève de l'intérêt. Il y a une bonne bibliographie analytique choisie ainsi qu'un index des noms et des sujets. On trouve avec plaisir les dates d'astronomes disparus, avec peu d'omissions.

H. SPENCER JONES

DUFAY, J.: *Galactic Nebulae and Interstellar Matter*, traduit par A. J. Pomerans. Pp. 352. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1957. 60s.

Le traité de M. Dufay, «Nébuleuses galactiques et matière interstellaire», est depuis sa publication l'exposé le meilleur et le plus complet sur la matière diffuse dans l'univers sous ses formes diverses d'atomes, de molécules et de particules solides. Il méritait certainement une édition anglaise. Vu le développement rapide du sujet, certaines parties ont été revues et augmentées par l'auteur à cette intention, faisant ainsi un tableau complet des connaissances sur la matière interstellaire jusqu'en 1955.

Nous mettons, toutefois, en garde ceux que la nécessité forcera à utiliser cette traduction contre les nombreuses fautes d'impression dues à la négligence du correcteur d'épreuves et les exemples, malheureusement trop fréquents, de traduction peu satisfaisante. Tous ceux qui s'intéressent à la question feront bien d'avoir recours à l'édition originale plutôt qu'à cette traduction défectueuse.

H. SPENCER JONES

PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia: *The Galactic Novae*. Pp. X + 336. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1957. 30,50 florins.

Les novae, étoiles temporaires qui augmentent soudain d'éclat plusieurs milliers et même millions de fois avant de s'éteindre petit à petit, ont un intérêt tout spécial. Les phénomènes accompagnant leur explosion sont très complexes. Leur spectre se modifie rapidement: au début, on note la superposition de plusieurs spectres de type différent avec des déplacements Doppler variables. L'éclat d'une nova normale augmente de 10 grandeurs environ, mais les supernovae — ainsi appelées à cause de leurs feux exceptionnels — augmentent beaucoup plus. Elles se divisent en deux catégories, selon leur accroissement de 15 ou 20 magnitudes. Leur spectre diffère considérablement de celui des novae normales: celui des supernovae de la catégorie I est encore entièrement mystérieux alors que l'hydrogène est le seul élément reconnu avec certitude dans celui de la catégorie II. Outre les véritables novae, il existe de nombreuses étoiles ayant des caractères similaires, parfois cycliques, mais d'éclat moins prononcé.

Cette excellente monographie est le premier ouvrage anglais sur la question et comblera une lacune évidente. Il y a déjà un volume russe sur cette importante catégorie d'étoiles. Et de nombreux articles ont paru sur des novae particulières et sur les nombreux problèmes qui s'y rapportent, mais c'est le premier volume qui leur soit entièrement consacré. L'auteur n'a oublié aucun article d'importance et chaque chapitre se termine par une bibliographie développée. Toute la documentation connue est résumée, des chapitres séparés traitant des étoiles sur lesquelles on a des renseignements précis, moins précis et fragmentaires. Deux chapitres s'occupent des diverses catégories d'étoiles ressemblant aux novae et un autre des supernovae. La fin de l'ouvrage fait une étude comparée de la transformation des spectres et traite des questions d'évolution et de théorie. Cette augmentation soudaine d'éclat appartient probablement aux derniers stades de la vie de l'étoile; on a beaucoup spéculé sur sa cause mais sans résultat définitif. Il paraît qu'«aucune supernova de la catégorie I n'est apparue dans notre galaxie depuis 1604 mais qu'on peut espérer en voir une dans un avenir assez prochain». Il faudra peut-être attendre cet événement pour interpréter les spectres compliqués de ces étoiles si intéressantes.

Le livre rendra d'immenses services comme ouvrage de référence. Les erreurs et fautes d'impression, en quantité négligeable, sont peu importantes. La présentation et l'impression sont excellentes. H. SPENCER JONES

PHYSIQUE

BITTER, F.: *Currents, Fields and Particles.* Pp. 599 + XIV. The Technology Press of Massachusetts Institute of Technology et John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 68s.

Un manuel bien fait donne toujours des aperçus intéressants sur les méthodes d'enseignement de son pays d'origine. Les cours de faculté deviennent facilement stéréotypés et, en Grande-Bretagne, les deux premières années au moins s'écartent rarement de la tradition. C'est pourquoi on est surpris de constater que l'optique géométrique soit si peu traitée ici. Le début de l'ouvrage jusqu'au chapitre 8, qui s'occupe des ondes électromagnétiques, semble correspondre à la troisième année d'un cours poussé d'université britannique. Mais le chapitre 9 sur l'optique — réflexion et réfraction — représente le niveau le plus élevé atteint sur ce point. C'est parce qu'en Amérique, on n'accorde pas la même importance et la même priorité aux divers aspects du sujet.

Par beaucoup de côtés, l'étude du Professeur Bitter répond mieux aux besoins modernes que le cours habituel correspondant d'université britannique. On a trop tendance en Grande-Bretagne à allonger les programmes sans réduire proportionnellement, par la rationalisation, les matières originales.

Fait unique: le volume présente assez tôt à l'étudiant les concepts de particules de masse, de dualisme et les fondements de la théorie atomique. Sous ce rapport, l'étude est bonne et n'offrirait pas de difficultés aux étudiants britanniques de seconde année — niveau qui est dans l'ensemble celui du volume si l'on passe sur certaines différences fondamentales.

Préparé avec soin, l'ouvrage témoigne de la longue expérience pédagogique de l'auteur. Il se lit facilement et est bien illustré; il y a de nombreux exemples bien choisis à la fin de chaque chapitre. Il rendrait grand service aux étudiants britanniques tout en offrant un point de vue nouveau, mais le prix est prohibitif.

H. S. W. MASSEY

BETHE, H. A. et MORRISON, P.: *Elementary Nuclear Theory* (2e édition). Pp. XI + 274. John Wiley & Sons, New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 50s.

Le manque de bons ouvrages ajoute à la confusion actuelle de la physique nucléaire et énergétique. Les auteurs en puissance n'ont pas le loisir d'écrire des livres appelés à dater dès leur publication. La première édition de cet ouvrage fut très appréciée, mais la seconde, enrichie par la collaboration du Professeur Morrison, a encore plus de valeur.

Les auteurs ont réussi à présenter avec une concision remarquable la presque totalité de la physique nucléaire au point atteint vers la fin de 1955. La clarté d'exposition de discussions parfois très subtiles rendra certainement le livre indispensable à l'étudiant commençant des recherches de physique nucléaire, au personnel universitaire enseignant et même au spécialiste de travaux expérimentaux ou théoriques sur la question. Les physiciens d'autres domaines voulant se tenir au courant des progrès sur ce point feront bien aussi de lire ce volume.

La nouvelle édition est non seulement plus détaillée que la précédente mais fait des apports nouveaux sur les réactions nucléaires, la dispersion et les propriétés physiques des mésons. Les effets de polarisation dans les collisions nucléaires font l'objet d'une étude spéciale, à juste titre d'ailleurs, car les travaux expérimentaux et théoriques sur ce point ont donné récemment des résultats très encourageants dans l'interprétation des forces nucléaires.

L'œuvre est maintenant divisée en trois parties principales: théorie descriptive des noyaux (7 chapitres), théorie quantitative des forces nucléaires (11 chapitres), noyaux complexes et désintégration-β (3 chapitres). Le Supplément donne une table des espèces nucléaires et il y a aussi un tableau de rapports numériques.

H. S. W. MASSEY

BLIN-STOYL, R. J.: *Theories of Nuclear Moments.* Pp. 88. The Clarendon Press, Oxford. 1957. 8s. 6d.

Ce volume est le premier de la nouvelle série intitulée *Oxford Library of the Physical Sciences*, qui promet de rendre grand service aux chercheurs scientifiques. Le niveau sera élevé.

On sait maintenant mesurer les moments dipolaires magnétiques de la plupart des noyaux atomiques à 1% près au moins et on a aussi déterminé certains moments quadripolaires et octopolaires. Le Dr Blin-Stoyl fait l'étude critique des interprétations théoriques de ces mesures.

Il est encore impossible à l'heure actuelle d'établir des fonctions ondulatoires exactes représentant la structure d'un noyau, à part pour les cas très simples; il faut donc construire des modèles simplifiés permettant d'effectuer des calculs. Les principes des divers modèles sont très clairement exposés et suivis d'une étude détaillée de leur emploi dans l'interprétation de mesures de moments nucléaires.

Cette monographie fait un inventaire utile de la situation dans ce domaine à l'usage du spécialiste, mais les discussions sont en même temps assez claires pour être très utiles au chercheur ne s'occupant pas directement de ces questions théoriques. R. E. RICHARDS

DAVISON, B.: *Neutron Transport Theory.* Pp. XX + 450. Oxford University Press, Londres. 1957. 75s.

Le sujet de cette monographie n'a pas l'air au premier abord d'être aussi général que les précédents de la série. Le livre présente, malgré tout, des à-côtés insoupçonnés et demande un équipement mathématique considérable pour résoudre les problèmes de transport de neutrons. L'auteur, bien connu dans ce domaine, a fait appel à des travaux publiés ou encore à paraître pour composer une œuvre qui restera certainement classique pendant de longues années.

L'étude n'est pas difficile dans l'ensemble, mais la profusion des symboles et la grande diversité des domaines qui ont fourni les idées utilisées ne facilitent pas la lecture. Le non-spécialiste voudra sans doute choisir dans le texte ce qui l'intéresse, mais il faut reconnaître que le livre ne s'y prête pas et demande d'être lu en entier. Il n'aura donc peut-être pas le succès qu'un ouvrage similaire moins détaillé aurait pu avoir. C'est un ouvrage parfait pour les spécialistes de la théorie du transport des neutrons. L. R. B. ELTON

GIBSON, A. F., publié par: *Progress in Semiconductors*, Vol. II. Pp. VII + 280. Heywood & Co. Ltd., Londres. 1957. 63s.

Ce volume est le second d'une bonne série de monographies. Bien que le texte fasse suite dans une certaine mesure au précédent, les rédacteurs ont sagement choisi d'autres sujets d'actualité dans le même domaine. Les

alliages semi-conducteurs (Ge-Si) et les composés intermétalliques III–V sont bien traités et leur importance croissante dans l'étude fondamentale des états d'énergie des cristaux est mise en relief. Deux articles sont consacrés au germanium, l'un sur la production de cristaux uniques très purs, l'autre sur les propriétés physiques du germanium renfermant des concentrations contrôlées d'impuretés choisies. La question des dégâts causés par les radiations dans les semi-conducteurs et le problème de la durée de vie des porteurs font l'objet d'études de valeur. L'exposé des effets de champs électriques de forte intensité sur les semi-conducteurs est complété par un article sur les diverses théories de l'électroluminescence.

Toutes les monographies semblent être à jour et munies de notes bibliographiques suffisantes. Il n'y a qu'une brève table des matières à la fin du volume. Le choix des auteurs et des textes est extrêmement louable.

G. F. J. GARLICK

JONES, F. Llewellyn: *The Physics of Electrical Contacts*. Pp. x + 219. The Clarendon Press, Oxford. 1957. 35s.

L'étude des phénomènes associés au fonctionnement des contacts électriques est depuis longtemps le domaine presque exclusif de l'ingénieur électricien. L'examen détaillé des aspects physiques fondamentaux de la question est un fait assez récent. Le livre du Professeur Llewellyn Jones arrive donc à point; on n'y trouve pas de longues discussions technologiques mais un exposé clair et concis de la physique fondamentale des contacts électriques.

Après la revue générale du sujet et des résultats obtenus précédemment par divers auteurs, le problème du transfert fin dans les contacts à tension moyenne est spécialement traité. Les mécanismes possibles sont étudiés et il y a un compte rendu détaillé de l'asymétrie résultant de l'effet Thomson. L'étude des propriétés des ponts métalliques aux températures élevées montre une possibilité intéressante: comment l'étude fondamentale d'un phénomène peut mener à l'emploi de ce phénomène comme point de départ d'une nouvelle technique expérimentale.

Le dernier chapitre déçoit par sa brièveté. Il traite du comportement des contacts électriques fermés (à distinguer de la mise en contact et de la rupture). Plusieurs aspects sont cités rapidement, mais le chapitre n'atteint pas, dans l'ensemble, le niveau élevé du début du livre. J. B. P. WILLIAMSON

CHIMIE

CLAPP, L. B.: *Chemistry of the Covalent Bond*. Pp. XIV + 684. W. H. Freeman & Co., San Francisco; Bailey Bros. and Swinfen Ltd., Londres. 1957. $7,50.

Ce livre s'adresse aux étudiants américains de première année d'université, ayant fait auparavant un an de chimie, peu de mathématiques et de physique et pas de calcul infinitésimal. Il traite des corps covalents, organiques pour la plupart. Bien que ce soit un manuel élémentaire de chimie organique, on y trouve aussi une introduction générale et des chapitres sur l'oxydation et la réduction, les acides et les bases ainsi que le développement de la notion de liaison covalente. A l'inverse de la majorité des livres élémentaires, il n'y a pas de descriptions de méthodes de laboratoire. La plupart des chimistes penseront que c'est un tort puisque la chimie, surtout dans le domaine traité ici, est essentiellement un sujet pratique. Après lecture de cet ouvrage, l'étudiant n'aura aucune idée de la préparation ou du maniement des corps décrits. Les propriétés sont envisagées exclusivement au point de vue valence. Certaines parties traitent de la théorie de tension, de stéréochimie, de résonance et de déplacements électroniques. Pour stimuler sans doute l'intérêt de l'étudiant moins académique, il y a des allusions aux applications techniques et aux protéines, à la couleur, etc. L'ouvrage fait une introduction originale et intéressante à la chimie organique. J. W. LINNETT

PIETERS, H. A. J. et CREYGHTON, J. W.: *Safety in the Chemical Laboratory* (2e édition). Pp. XIV + 305. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New-York. 1957. 40s.

En tant qu'œuvre de référence sur la sécurité au laboratoire, ce livre a beaucoup de bon. Mais la préface déclare qu'«il s'adresse essentiellement à chaque membre du laboratoire. Sa place est sur la table de manipulations et non à la bibliothèque». Le prix élevé de cette seconde édition y fera malheureusement obstacle.

Certaines parties, sur l'analyse par exemple, sont trop détaillées alors que des sujets plus importants sont à peine mentionnés. On trouve 7 pages sur la protection de l'individu mais 5 lignes seulement et une seule figure sur les écrans. Des écrans suffisants sont pourtant essentiels dans la protection au laboratoire. Ce doit être la première ligne de défense, la protection de l'individu n'étant envisagée qu'au cas où la garde de l'appareil deviendrait insuffisante.

Le livre traite trop de sujets différents et insiste sur des aspects secondaires. Il en résulte qu'il est trop vaste pour être utile au laboratoire mais insuffisant pour constituer un manuel complet sur la question de sécurité. L. J. BURRAGE

PRIGOGINE, I.: *The Molecular Theory of Solutions*. Pp. XX + 448. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1957. 48 florins.

Ce livre s'occupe d'une question difficile: relier les propriétés d'équilibre des mélanges liquides aux propriétés individuelles des molécules et aux forces qui les unissent. Les deux dernières décennies ont vu des progrès considérables dans ce domaine, sous l'impulsion partielle de l'intérêt porté aux solutions de polymères. Les ouvrages récents adoptent surtout un point de vue à demi empirique (*Solubility of Non-electrolytes* par Hildebrand et Scott, 1950) ou s'attachent à l'idée du réseau de l'état liquide (*Mixtures* par Guggenheim, 1952). Le livre actuel insiste surtout sur la notion de cellule, utilisée en premier lieu par Lennard-Jones et Eyring, et en particulier sur la cellule de potentiel moyen étudiée à fond par le Professeur Prigogine et son école ces dernières années. L'ouvrage n'est pas pour le lecteur courant, mais il rendra d'immenses services à ceux qui s'intéressent essentiellement aux solutions non-électrolytiques, car la théorie est souvent présentée avec plus de clarté et de logique que dans les premiers articles de l'auteur sur le sujet. Les comparaisons avec l'expérience sont nombreuses tout au long. L'exposé et la présentation sont excellents.

R. P. BELL

ELDERFIELD, R. C., publié par: *Heterocyclic Compounds*. Vol. VI. Pp. VII + 753. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 200s.

Ce volume imposant est le dernier paru de cette série bien connue et très appréciée d'ouvrages de référence. L'étude des composés hétérocycliques hexagonaux renfermant deux atomes hétérogènes suit le plan des volumes précédents. La taille, mais malheureusement aussi le prix de l'ouvrage

sont en rapport avec l'importance de ces groupements.

Les 14 chapitres traitent des cycles suivants: dioxanes (Kremer et Rochen), benzodioxanes (Elderfield), analogues sulfurés des dioxanes (Elderfield), pyridazines (Jacobs), cinnolines (Jacobs), phthalazine (Elderfield et Whyte), pyrimidine (Kenner et W. H. Todd), quinazoline (Williamson), pyrazines et pipérazines (Pratt), quinoxalines (Pratt), oxazines (Cromwell), benzoxazines (Elderfield, Todd et Gerber), thiazines (Elderfield et Harris), phénazines, phénoxazines et phénothiazines (Pearson). Les chapitres principaux sont ceux sur les pyrimidines, pyrazines, oxazines et phénazines.

Comme dans les volumes précédents, l'étude des divers groupements porte presque exclusivement sur les préparations et propriétés chimiques. Les propriétés physiques, les mécanismes de réaction et la stéréochimie sont peu traités. Les plusieurs milliers de notes bibliographiques sont tirées dans l'ensemble de textes assez récents et ajoutent beaucoup à la valeur de l'ouvrage, ainsi que les milliers de formules développées.

W. BAKER

GÉOLOGIE

LOMBARD, Augustin: *Géologie sédimentaire: les séries marines.* Pp. 722. Masson et Cie, Paris. 1956. 11 000 fr.

Ce gros volume du Professeur Lombard fait l'étude des roches sédimentaires par rapport à la géologie dans son ensemble. C'est une vaste entreprise, mais la succession rythmique de tant de roches sédimentaires fournit le thème central. Aucune autre œuvre ne traite de cet aspect de la géologie avec autant de détails et le livre sera bien accueilli.

La première des quatre parties s'occupe des sédiments marins et lacustres actuels par rapport à leur environnement. La seconde commence l'étude de la série des roches sédimentaires marines. La troisième, sur les associations sédimentaires, forme le cœur de l'ouvrage, surtout les 80 pages qui traitent du rythme de succession des roches sédimentaires. L'auteur utilise la notion de succession rythmique idéale dans divers domaines et compare avec elle les rythmes incomplets et souvent brouillés accidentellement de la réalité. Il envisage enfin la genèse de la série de roches sédimentaires par rapport à la tectonique et aux conditions de dépôts.

Il n'est pas facile d'évaluer l'œuvre. Les matériaux sont présentés d'un point de vue original, qui est bon en soi. L'auteur met en relief ses opinions et ses hypothèses personnelles en les imprimant en italique alors que des conceptions d'intérêt plus général ne sont pas mises en évidence. Le livre aura certainement un effet stimulant, mais le prix est élevé et beaucoup de géologistes préféreraient peut-être un volume moins fourni et moins cher.

L. R. WAGER

BIOLOGIE

LACK, David: *Evolutionary Theory and Christian Belief.* Pp. 128. Methuen & Co. Ltd., Londres. 1957. 10s. 6d.

Le Dr Lack est déjà l'auteur de quelques études captivantes sur la vie des oiseaux. Mais il se tourne ici vers le problème plus vaste de l'évolution et de son conflit possible avec le dogme chrétien. L'œuvre a la documentation minutieuse que l'on peut attendre du chargé de cours d'Ornithologie à Oxford et du Directeur de l'*Edward Grey Institute.* Elle suppose la vérité fondamentale de la théorie de l'évolution tout en admettant qu'au lieu de résoudre le problème, l'acceptation de la théorie en soulève de nouveaux. Comme l'indique le sous-titre du volume (*The Unresolved Conflict*), le Dr Lack ne prend ni l'un ni l'autre parti tout en faisant remarquer très à propos la difficulté d'accepter les pensées et les jugements de l'esprit humain si celui-ci n'est qu'un produit de l'évolution. Pour une fois, nous avons là un livre absolument impartial; il n'est évidemment pas très profond et ne demande qu'un minimum de connaissance scientifique. Le soi-disant conflit entre le darwinisme et le christianisme a été envenimé si longtemps par tant de mauvais esprit et d'inexactitude historique qu'on a plaisir à voir les deux aspects de la dispute exposés si clairement et si raisonnablement.

C. A. COULSON

PORTER, H. K., publié par: *Symposia of the Society of Experimental Biology, No. XI. The Biological Action of Growth Substances.* Pp. VI + 344. Cambridge University Press, Londres. 1957. 55s.

Cette Conférence porte sur la physique des substances de croissance végétales et animales; les aspects chimiques et biochimiques ne sont traités qu'en passant. Au point de vue botanique, en particulier, elle fait presque étape, ayant eu lieu immédiatement après une période de découvertes très intéressantes. Les facteurs déterminant la division des cellules végétales (kinétines) et les gibberellines qui produisent des modifications de forme extraordinaires chez les plantes occupent naturellement le centre de la discussion. C'était aussi une occasion de renouveler les idées et il faut remercier le Dr J. R. Raper d'avoir si habilement renversé le mythe compliqué des hormones sexuelles algales de Moewus qui subjuguait les botanistes depuis si longtemps. Les théories courantes de la dominance apicale et du phototropisme sont aussi l'objet de quelques saines critiques de la part de Gregory et de Brauner. Le volume renferme aussi un certain nombre de points de vue actuels, moins passionnants peut-être mais tout aussi utiles, sur le rôle des hormones chez les végétaux. Les articles sur les substances de croissance animales n'ont pas l'intérêt de découverte qu'ont les autres, bien qu'ils fassent un tableau de valeur des diverses tendances actuelles. Il faut noter l'exposé de Wigglesworth sur les hormones de croissance des insectes et l'étude de Klein et Klein sur l'évolution d'indépendance des colonies de cellules tumorales chez les mammifères.

La présentation du volume a l'excellence technique habituelle aux Conférences de la *Society of Experimental Biology.* L'ouvrage renferme une telle mine d'idées et d'information qu'il sera indispensable à tous les chercheurs de ce domaine et des terrains voisins.

L. J. AUDUS

BIOCHIMIE

WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, Cecilia M.: *The Chemistry and Biology of Purines.* (Conférence de la Fondation Ciba publiée par ces auteurs). Pp. XII + 327. J. and A. Churchill, Londres. 1957. 48s.

La biochimie est actuellement engagée dans la voie du métabolisme et de la biosynthèse, conséquence inévitable de l'application des radio-isotopes à ce champ de recherches. Les purines ont été l'objet d'études qui, pourrait-on dire, dépassent la commune mesure parce que la compréhension détaillée de leur synthèse ainsi que de la formation de l'acide nucléique et de la relation précise des nucléoprotéines avec la synthèse des protéines est apparemment une des voies d'approche les plus favorables à la solution du problème du cancer. Les ptéridines sont étroitement liées à certaines de ces transformations et il est compréhensible qu'elles soient aussi le sujet de nombreux travaux.

Ce volume fait le compte rendu d'une Conférence Ciba réunissant les autorités mondiales dans le domaine de la chimie et de la biochimie des purines et des ptéridines. Le point de vue est surtout chimique et beaucoup seront reconnaissants aux organisateurs et aux éditeurs d'avoir fait un exposé de valeur et à jour des travaux en cours et des résultats obtenus dans ce domaine d'importance vitale. La présentation du sujet maintient le niveau des volumes précédents, la clarté des formules et des figures méritant mention spéciale. C. RIMINGTON

WOLSTENHOLME, G. E. W. et MILLAR, Elaine C. P., publié sous la direction de: *Ciba Foundation Colloquia on Endocrinology*, Vol. X, *Regulation and Mode of Action of Thyroid Hormones*. Pp. XII + 311. J. and A. Churchill Ltd., Londres. 1957. 48s.

L'étude du métabolisme des hormones thyroïdiennes se poursuit si activement dans tant de laboratoires différents qu'il est très difficile de trouver un compte rendu du sujet qui soit à la fois complet et à jour. Un colloque Ciba, tenu en juin 1956, étudia les facteurs déterminant la sécrétion de ces hormones ainsi que la nature biochimique de leur action et de leur métabolisme avec l'ampleur, l'originalité et l'autorité caractéristiques de ces réunions. Les articles tels qu'ils paraissent maintenant avec leur discussion constituent une revue extrêmement utile du sujet, vu son développement rapide. Comme il faut s'y attendre, on y trouve des idées, des suggestions et des explications nouvelles, outre un exposé très détaillé des résultats. Les discussions faisant suite à chaque article sont encore textuelles tout en ayant été suffisamment rédigées par leurs auteurs pour faire un tout logique. La biochimie de ces hormones, ainsi que leurs diverses formes d'activité et leur métabolisme rénal et hépatique, sont spécialement bien traités dans les articles présentés ou discutés par Pitt-Rivers, Roche et Michel, Thibault, Gross, Taurog, Maclagan et Wilkinson, Lardy, Vannotti et Lissitzky: noms qui témoignent déjà de la valeur et de la qualité du colloque. Les articles de Halmi, Barker, Querido et Courrier renferment tous des innovations biochimiques importantes dans le métabolisme thyroïdien et le rôle joué par l'hypophyse dans l'activité de la glande est l'objet d'articles supplémentaires de Purves, Greer et G. W. Harris. Le livre sera indispensable à ceux qui s'occupent de la biochimie thyroïdienne et offrira une revue utile et instructive à tous les chercheurs du métabolisme et du fonctionnement des glandes endocrines. E. E. POCHIN

CROOK, E. M.: *Biochemical Society Symposia, No. 14. Structure of Nucleic Acids and their Role in Protein Synthesis*. Pp. 74. Cambridge University Press, Londres. 1957. 20s.

Cette collection d'articles fut présentée à une Conférence de la *Biochemical Society* en février 1956. Elle passe en revue et étudie les structures supposées des acides nucléiques et leur rôle dans la question de la synthèse des protéines. On trouve d'abord une brève discussion des preuves chimiques et physiques de la structure proposée des acides ribonucléique et désoxyribonucléique. Quelques points de cytologie et les nombreux faits métaboliques à l'appui du rôle des acides nucléiques dans la synthèse protéique des tissus animaux et des bactéries sont alors présentés. La série se termine par l'étude du rôle de l'acide désoxyribonucléique dans la multiplication des bactériophages.

Le livre présente un résumé assez complet de cette importante phase de la biochimie allant jusqu'en 1956 et met en relief quelques-uns des récents travaux britanniques dans ce domaine. La collection constitue une revue utile, concise et bien présentée des rapports des acides nucléiques avec la synthèse protéique et intéressera certainement les chercheurs qui s'engagent dans cette voie. D. GROSS

NORD, F. F., publié par: *Advances in Enzymology*. Vol. XVIII. Pp. V + 435. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $9.

Les biochimistes qui attendent avec impatience la parution annuelle de ces volumes d'articles compétents et à jour sur diverses questions d'enzymologie et sujets voisins, ne seront par déçus par cette addition à la série.

Le volume renferme deux excellents articles complémentaires, l'un de E. F. Hartree sur le cytochrome chez les végétaux supérieurs et l'autre de W. O. James sur les directions des réactions dans leur respiration. Bien que ces deux chapitres se chevauchent inévitablement quelque peu, ceux qui recherchent les derniers détails de biochimie végétale seront heureux de trouver ces deux aspects dans le même volume. Un article de Kornberg sur les pyrophosphorylases et les phosphorylases dans les réactions synthétiques offre une mine d'information sur les réactions de nombreuses enzymes avec les esters de phosphates, dont ceux qui entrent dans la synthèse *in vitro* des acides nucléiques.

R. A. Peters dans un article sur le mode d'action de la toxicité des constituants actifs du *Dichapetalum cymosum* et composés apparentés retrace un intéressant chapitre de l'histoire de la biochimie — effets du fluoracétate sur le métabolisme cellulaire — auquel il a fait des apports considérables. L'article de T. P. Singes et de ses collègues donnant les connaissances nouvelles sur la déshydrogénase succinique et celui de L. J. Reed sur la chimie et le rôle de l'acide lipoïque ont de la valeur et de l'à-propos. Un article intéressant de J. M. Wiame intitulé «Le rôle biosynthétique du cycle des acides tricarboxyliques» et d'autres par J. A. V. Butler et P. F. Davison ainsi que W. J. Schubert et F. F. Nord sur les désoxyribonucléoprotéines et la lignification complètent ce volume utile et bien présenté. H. GUTFREUND

DARTNALL, H. J. A.: *The Visual Pigments*. Pp. VII + 216. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1957. 30s.

Les pigments visuels se trouvent dans la rétine de l'œil et leur sensibilité à la lumière est essentielle à la vue. Ce livre fait une revue critique des méthodes expérimentales employées, des résultats obtenus et des théories proposées dans l'étude de la nature des pigments et de leur réaction en présence de la lumière. Une bonne partie du volume s'occupe du pourpre visuel (rhodopsine) qui est composé de protéine et d'un dérivé de vitamine A et constitue le pigment sensible à la lumière le mieux connu de la rétine des vertébrés. Après un bon chapitre d'introduction sur les méthodes expérimentales, on trouve l'étude des pigments visuels et de leurs produits de réaction avec la lumière, de la chimie physique et structurale du pourpre visuel et du rôle joué par les divers stéréoisomères de la vitamine A dans la photochimie des divers pigments. Les chapitres suivants traitent des méthodes d'évaluation de l'homogénéité des solutions de pigments visuels et le livre se termine par l'exposé des travaux expérimentaux effectués sur les pigments dans

la rétine plutôt qu'en solution après extraction. C'est là le premier ouvrage complet sur la question depuis très longtemps et nous sommes reconnaissants à l'auteur d'avoir fait un compte rendu si équilibré du sujet. Il n'a pas trop simplifié les démonstrations et donne l'impression, qu'en dépit des connaissances déjà considérables dans ce domaine, il existe encore beaucoup d'incertitudes et les généralisations sont peut-être prématurées. A. PIRIE

BOTANIQUE

DOWSON, W. J.: *Plant Diseases due to Bacteria* (2e édition). Pp. xv + 232. Cambridge University Press, Londres. 1957. 32s. 6d.

Jusqu'à la parution de la première édition du livre en 1949, il y avait une lacune évidente dans les questions de pathologie végétale traitées dans les manuels et aide-mémoire britanniques. La publication d'une seconde édition au bout de 7 ans seulement justifie la confiance exprimée par les autorités compétentes sur la valeur de l'œuvre et sa grande utilité pour les chercheurs et les consultants en pathologie végétale ainsi que pour les étudiants biologistes et bactériologistes. Le texte a été remis à jour dans l'ensemble et nombreuses sont les références aux travaux d'étiologie et de lutte contre les maladies bactériennes des plantes de récolte effectués depuis 1949. L'auteur a pris soin d'inclure aussi les derniers tests microchimiques en bactériologie d'identification et mention est faite de l'emploi de phages spécifiques pour reconnaître certaines bactéries. Le plan général de l'œuvre n'a presque pas été modifié mais il y a un bref chapitre nouveau sur la conservation des cultures de bactéries. Le nombre de photographies, bien que réduit de 40 à 30, est suffisant et leur choix judicieux, tandis que la réintroduction de la série de cartes sur la répartition des maladies de récoltes dans le monde publiée par le *Commonwealth Mycological Institute* sera la bienvenue. Le volume est très bien présenté et les erreurs en nombre négligeable. A. E. MUSKETT

ZOOLOGIE

BEATTY, R. A.: *Parthenogenesis and Polyploidy in Mammalian Development*. Pp. xi + 132. Cambridge University Press, Londres. 1957. 15s.

Les biologistes s'intéressent de plus en plus de nos jours à la cytologie détaillée des premiers stades du développement et à l'étude des irrégularités spontanées ou artificielles dans le nombre des chromosomes. Le livre du Dr Beatty montre clairement que ces deux sujets, apparemment sans relations, sont en réalité vraiment complémentaires et s'éclairent mutuellement. Il fait une synthèse remarquable, indiquant nettement les conséquences génétiques des modifications capables de se produire pendant la conception du nouvel individu. Les variations sont causées de diverses façons: soit par hétéroploïdie des spermatogonies ou des oogonies, par absence d'abstriction des deux corps polaires ou d'un seul, soit par des anomalies de la fertilisation et de la division ou par activation non spécifique de l'œuf. Le développement pouvant se produire dans un ou plusieurs de ces cas, de nombreuses combinaisons sont possibles et la multiplicité des résultats paraîtrait inextricable sans l'intervention habile et systématique de l'auteur. Il fait aussi l'examen critique et la classification d'une grande quantité de faits déjà parus sur des espèces mammifères et autres, offrant ainsi une source unique de documentation critique. Plusieurs conséquences importantes sont discutées et les conclusions pénétrantes ajoutent à la valeur de ce remarquable petit traité.

C. R. AUSTIN

IMMS, A. D.: *A General Textbook of Entomology* (9e édition), revue par O. W. Richards et R. G. Davies. Pp. x + 886. Methuen & Co. Ltd., Londres. 1957. 75s.

Ouvrage paru en 1925 dont la dernière révision date de 1934. La tâche formidable de le mettre à jour sans détruire sa forme d'ensemble a été admirablement menée à bien par le Professeur O. W. Richards et le Dr R. G. Davies. La longueur du livre a été augmentée d'un quart environ et le nombre d'ordres reconnus est passé de 23 à 29. Au niveau famille, la classification a été considérablement révisée dans presque tous les groupes et de nouvelles légendes ont été préparées pour l'identification des familles. Il y a maintenant beaucoup plus de notes bibliographiques et elles sont disposées de façon uniforme et moins condensée à la fin de chaque chapitre. Les pages sur la physiologie des insectes ne reflétaient pas véritablement l'état des connaissances même en 1925; elles ont été entièrement rédigées à nouveau et font un compte rendu exact et concis des idées actuelles sur ce point. L'ouvrage est depuis sa parution le manuel d'entomologie en langue anglaise le plus apprécié. Sous cette forme nouvelle, il sera encore plus utile.

V. B. WIGGLESWORTH

OSMAN HILL, W. C.: *Primates*, Partie 3—*Pithecoidea, Platyrrhini, Hapalidae*. Pp. xix + 354. Edinburgh University Press, Edimbourg. 1957. 90s.

Ce 3e volume du Dr Hill est à peu près à mi-chemin, au point de vue classification, de son étude monumentale des Primates. Il débute ici sa revue du sous-ordre supérieur des singes et de l'homme, auxquels il donne le nom collectif de *Pithécoïdes*, bien qu'on voie difficilement ce que ce terme apporte de plus que l'ancien nom courant d'*Anthropoïdes*.

Suivant le plan général de la série, il fait des descriptions à chaque niveau hiérarchique en commençant par le sous-ordre des *Pithécoïdes* et celui des *Platyrrhiniens* pour aboutir aux familles et aux divers genres de marmousets et de tamarins. Cette disposition impose quelques répétitions, mais il est souvent très utile en pratique d'être en présence de définitions complètes sans avoir recours à trop de références de rappel. Le raccordement de ces descriptions taxonomiques est, en effet, particulièrement judicieux.

Le volume sera très bien accueilli vu le manque évident de bonnes descriptions génériques systématiques des singes du Nouveau-Monde. Il sera plus difficile d'approuver, cependant, les changements de classification et de nomenclature que le Dr Hill continue à introduire dans son œuvre. Les discussions ne sont pas toujours suffisamment critiques pour persuader le lecteur que ces modifications sont nécessaires. Malgré ces réserves, il est certain que l'ouvrage possède déjà une place de choix et sera un guide indispensable dans l'étude de la morphologie et de la répartition des Primates. J. S. WEINER

MÉDECINE

KEEVIL, J. J.: *Medicine and the Navy* 1200–1900. Vol. I, 1200–1649. Pp. xii + 255. E. and S. Livingstone Ltd., Edimbourg. 1957. 40s.

Chose étonnante dans un pays de marins, il n'existe pas d'étude systématique du rôle joué par la médecine dans la vie de ceux qui vont en mer. Le médecin-capitaine de corvette Keevil est bien placé pour faire cette étude et ce volume, le premier de quatre, s'occupe de la première période 1200–1649. Débutant par l'introduction des Rôles

d'Oléron en Angleterre au commencement de cette période, il décrit ensuite, entre autres, les mesures prises pour les matelots malades ou blessés, le recrutement *ad hoc* de médecins pour servir «dans la flotte royale faisant voile... vers Calais» en 1436, les ravages de la maladie dans les flottes espagnole et anglaise au temps de l'Armada et son influence dans le déclin naval qui suivit la première époque élisabéthaine.

Les vaisseaux royaux étaient en réalité tristement équipés au point de vue médical et l'auteur fait remarquer que la médecine navale débuta à bord des corsaires et navires marchands. Des aventuriers perspicaces, tels que Drake, acquirent peu à peu une expérience considérable sur les conditions nécessaires à la santé en mer et les maladies tropicales et finalement l'importance d'un service médical compétent à bord fut admise généralement. Même en 1649, toutefois, l'état de choses était loin d'être satisfaisant et il faudra attendre les volumes suivants de la série pour découvrir comment il fut amélioré. Cette première partie de l'œuvre est absorbante, très bien documentée et illustrée. Elle est très justement dédiée à Charles Singer.

E. J. HOLMYARD

AGRICULTURE

RICHHARIA, R. H.: *Plant Breeding and Genetics in India, Vol. I.* Pp. VII + 410. Scientific Book Co., Patna, Inde. 1957. 30s.

Ce livre est une réimpression légèrement modifiée de l'ouvrage paru sous le même titre en 1945. Il passe en revue la littérature considérable sur le sujet de la reproduction et de la génétique végétales, comprenant les grandes cultures économiques de l'Inde. Seuls les travaux faits dans l'Inde sont traités et, à ce point de vue, la bibliographie est très complète. Mais des études similaires, ayant donné les mêmes résultats dans d'autres pays ne sont pas citées. Le lecteur aura donc du mal à déterminer la part de l'Inde et de l'étranger dans ces recherches et une considérable confusion historique s'ensuit.

On trouve pourtant ici une grande quantité de renseignements utiles qui rendront service à la fois aux chercheurs de l'Inde et de l'étranger. Un second volume sur les travaux indiens postérieurs à 1945 doit paraître.

S. C. HARLAND

HISTOIRE DE LA SCIENCE

CHAUVOIS, Louis: *William Harvey. His life and times; his discoveries; his methods.* Pp. 271. Hutchinson Medical Publications, Londres. 1957. 25s.

Autour de la trame assez mince de la vie de Harvey, le Dr Chauvois, historien français de la médecine bien connu, a tissé un récit nouveau de la carrière et des découvertes du grand physiologiste. Excellemment traduit en anglais et abondamment illustré, c'est un volume utile et intéressant; l'enthousiasme évident de l'auteur rend acceptables même ses excursions dans le domaine de l'imagination. Les recherches antérieures de D'Arcy Power, H. P. Bayon, Geoffrey Keynes et d'autres, qui révélèrent presque tout ce qu'on connaît de Harvey et examinèrent à fond sa valeur scientifique, sont habilement utilisées.

Mais le Dr Chauvois s'écarte décidément de l'opinion de ces auteurs par l'importance qu'il accorde à Césalpin en tant que précurseur de Harvey. Il découvrit dans les écrits de celui-ci «l'exposé très clair d'une circulation des artères aux veines et des veines aux artères» et bien qu'il admette que Harvey ne fasse nulle part allusion à Césalpin, sa «reconstitution» suppose que le savant ait pu avoir emprunté son idée au naturaliste italien. Les longues citations fournies à l'appui de cette thèse ne semblent pas aussi claires que l'interprétation qu'en donne l'auteur. Il fait cependant le plus grand éloge de l'œuvre de Harvey, expliquant justement son importance fondamentale pour la science médicale. On peut recommander cette biographie à tous ceux qu'ont intéressés les célébrations récentes, mais elle ne remplacera pas les ouvrages existants pour l'étudiant.

A. R. HALL

TAYLOR, E. G. R.: *The Haven-Finding Art. A History of Navigation from Odysseus to Captain Cook.* Pp. XII + 295. Hollis and Carter, Londres. 1956. 30s.

L'idée que les marins d'antan naviguaient en longeant les côtes est lente à disparaître, quand bien même, comme l'indique le Professeur Taylor, «les navigateurs ont tous la terreur d'être entraînés vers une côte sous le vent et essaient de rester en pleine mer pour éviter les dangers des eaux côtières». On trouve ici des preuves nombreuses que, bien avant l'ère chrétienne, alors que la ligne de sonde était la seule aide instrumentale connue, les navigateurs recherchaient la sécurité relative de la haute mer et s'aventuraient régulièrement loin des côtes. En rappelant qu'Ulysse se servait des étoiles, Homère faisait évidemment allusion à une méthode déjà courante.

Vient ensuite l'histoire de la navigation jusqu'à l'époque de Cook, qui fut peut-être le plus grand navigateur de tous les temps. Non seulement les aides instrumentales, du *kamal* et du renard jusqu'à la boussole et au chronomètre de Harrison, sont traitées, mais les questions voisines telles que cartes, livres de bord et tables de marée. Tous ces renseignements font partie d'un exposé très clair — révélant une grande compréhension des problèmes de la navigation en mer — de la façon dont ces instruments étaient (et sont même encore dans certains cas) utilisés à bord. C'est un livre remarquable: à la fois œuvre d'érudition sérieuse et exposé lucide d'un sujet captivant et très important.

TREVOR I. WILLIAMS

SARTON, George: *Six Wings: Men of Science in the Renaissance.* Pp. XIV + 318. Indiana University Press, Bloomington. 1957. $6,75.

Cette étude des savants de la Renaissance est basée sur les Conférences Patten données à l'Université d'Indiana en 1955 par le regretté George Sarton. Les «six ailes», allusion érudite aux six divisions des tables astronomiques de l'écrivain du Moyen Age Immanuel Bonfils et, de là, aux six ailes des séraphins dans le livre d'Isaïe, sont les six parties de l'ouvrage qui passe en revue, de façon caractéristique, toutes les branches de la science, de la médecine et de la technologie de la Renaissance. L'étude est centrée sur les personnalités plutôt que sur les recherches entreprises; c'est pourquoi on y trouve tant de portraits contemporains. Comme toutes les œuvres de Sarton, elle est érudite mais de lecture aisée, étendue sans être décousue, profonde mais jamais pédante; on regrette d'autant plus la disparition d'un esprit aussi brillant. Il est presque impossible de faire un choix, mais la dernière «aile», qui est une remarquable étude comparée de Léonard de Vinci et d'Albert Dürer, sera particulièrement appréciée.

TREVOR I. WILLIAMS

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

The United Kingdom Contribution to the International Geophysical Year 1957–58. Pp. 72. The Royal Society, Londres. 1957. 10s.

L'Année Géophysique Internationale représente la coopération de quelque 60 nations. L'organisation de la contribution britannique a été confiée à la *Royal Society* qui décrit ici les mesures projetées. On trouve un exposé assez détaillé de la distribution du travail, du rôle à jouer par les diverses disciplines intéressées et la répartition géographique des stations du Royaume-Uni. Le dernier chapitre relate l'établissement et le programme des travaux de la base britannique dans l'Antarctique, à Halley Bay.

CRANE, E. J., PATTERSON, Austen M. et MARR, Eleanor B.: *A Guide to the Literature of Chemistry* (2e édition). Pp. XIV + 397. John Wiley & Sons Inc., New-York, Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 74s.

Il est de la plus grande importance pour les chimistes quels qu'ils soient de savoir où et comment chercher des renseignements dans la vaste littérature scientifique. L'ouvrage de Crane et Patterson est une œuvre classique depuis 1927 et il paraît maintenant sous une forme revue et modernisée, la révision étant surtout l'œuvre du Dr. Eleanor B. Marr. Il aidera utilement à consulter livres, revues, brevets, publications officielles, littérature commerciale, bibliothèques et autres sources d'information chimique.

The Science Museum: the First Hundred Years. Pp. 85. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1957. 15s.

Le *Science Museum* de South Kensington, un des résultats de la Grande Exposition de 1851, fut ouvert au public en 1857. La publication de ce volume en marque le centenaire. Une courte introduction fait l'historique du musée et le reste du volume décrit avec illustrations 21 des principaux objets exposés, depuis la fameuse horloge de la Cathédrale de Wells (1392) jusqu'à la turbine à vapeur de Parsons (1891), et depuis la machine à balancier rotatif de Boulton et Watt jusqu'à l'appareil de Joule pour mesurer l'équivalent mécanique de la chaleur.

HENDERSON, I. F. et W. D.: *Dictionary of Scientific Terms* (6e édition, revue et augmentée par John H. Kenneth et W. D. Henderson). Pp. XVI + 532. Oliver and Boyd, Edimbourg. 1957. 32s.

La portée de cette œuvre est nettement moindre que le titre ne le suggère, car c'est en effet un dictionnaire de termes des sciences biologiques. Mais dans ce domaine, il est très varié et définit quelque 14 000 termes. C'est un ouvrage de référence bien connu, car la première édition de I. F. et W. D. Henderson, parut en 1920 et rappelait assez le *Manual of Scientific Terms* de Stormonth publié en 1879. Cette nouvelle édition, préparée par J. H. Kenneth, fait une révision et une expansion considérable de celle de 1953.

GREAVES, Richard H. et WRIGHTON, H.: *Practical Microscopical Metallography* (4e édition). Pp. XIV + 221. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 70s.

Quatrième édition d'un ouvrage classique sur les méthodes et résultats de l'examen des métaux au microscope optique. Elle suit les grandes lignes des précédentes mais a été revue et augmentée.

HENSEL, Witold: *Sztuka Spoleczenstw Paleolitycznych* (Art des groupements paléolithiques). Pp. 158. Panstwowe Muzeum Archeologiczne, Varsovie. 1957. 42 zlotys.

Bref exposé superbement illustré en couleurs, demi-teintes et au trait de l'art des groupements paléolithiques. Le sujet est traité de divers points de vue: répartition et nature des exemples connus de cet art, matériaux et outils employés, évolution de la pensée artistique et rôle de cette forme primitive d'art. Le texte principal est en polonais, mais il y a de courts résumés en russe et en anglais.

NOAKES, G. R.: *New Intermediate Physics.* Pp. VIII + 961. Macmillan & Co. Ltd., Londres; St. Martin's Press, New-York. 1957. 30s.

Ouvrage complet de physique à l'usage des futurs étudiants universitaires britanniques. Les sections sur la physique générale et la chaleur ne diffèrent pas sensiblement des ouvrages précédents de l'auteur sur ces questions; celles sur la lumière et l'électricité, inspirées d'œuvres antérieures, ont été entièrement refaites. La question de la lumière est traitée tout au long par les ondes. Le système M.K.S. est employé.

HOGBEN, Lancelot: *Men, Missiles and Machines.* Pp. 69. Rathbone Books, Londres. 1957. 17s. 6d.

L'énergie est un facteur excessivement important de la civilisation moderne; il est vrai dans une large mesure que le niveau de vie d'un pays est proportionnel à la quantité d'énergie dont il dispose par tête de la population. Ce volume, très bien présenté et illustré, est le cinquième d'une série maintenant bien connue. Il décrit à l'intention des non-initiés les principes fondamentaux de production et d'emploi de l'énergie ainsi que les diverses machines employées à cet effet.

HENISCH, H. K.: *Rectifying Semi-conductor Contacts.* Pp. XII + 372. The Clarendon Press, Oxford; Oxford University Press, Londres. 1957. 70s.

Exposé spécialisé des phénomènes constatés aux points de contact entre métaux et semi-conducteurs, comprenant une description détaillée des méthodes expérimentales. L'ouvrage demande des connaissances considérables de physique et de mathématiques, mais les chapitres d'introduction sont faits pour aider ceux qui ignorent les détails de la terminologie et des notions de la physique de l'état solide.

Notes biographiques sur les collaborateurs

W. H. McCREA,
M.A., Ph.D., Hon. D.Sc., F.R.S.,

Naquit à Dublin en 1904 et étudia aux Universités de Cambridge et de Gœttingue. Après avoir enseigné à l'Université d'Edimbourg et à l'*Imperial College of Science* de Londres, fut nommé Professeur de Mathématiques à *Queen's University*, Belfast, en 1936. Il occupe un poste similaire à l'Université de Londres depuis 1944, au *Royal Holloway College*. A fait un stage à titre de Professeur d'Astronomie à l'Université de Californie en 1956. Ses travaux ont porté surtout sur l'astrophysique théorique et la théorie de la relativité avec ses applications en cosmologie.

KENNETH M. SMITH,
D.Sc., Ph.D., F.R.S.,

Naquit à Helensburgh, Ecosse, et étudia à l'Université de Londres. Fut Maître de conférences principal d'entomologie agricole à l'Université de Manchester de 1920 à 1927. Il fut alors nommé principal assistant de recherches au Centre de Travaux sur le virus de la pomme de terre à Cambridge et y resta jusqu'en 1939. Il devint alors directeur du Centre qui est maintenant la Section de recherche sur les virus de l'*Agricultural Research Council*. Il a fait paraître plusieurs ouvrages sur les virus des végétaux dont *Textbook of Plant Virus Diseases* et *Recent Advances in the Study of Plant Viruses*. Il est aussi auteur de *Beyond the Microscope*.

ROBLEY C. WILLIAMS,
A.B., Ph.D.,

Naquit en Californie en 1908 et étudia à *Cornell University*. Il était physicien de profession, mais son premier poste universitaire fut celui d'astronome à l'Université de Michigan. En 1945 il passa au département de physique où il devint professeur en 1949. Il se rendit à l'Université de Californie en 1950 et y devint Professeur de Biophysique au département de biochimie et biophysicien au *Virus Laboratory*. En 1956–57 il passa un an de congé à la Section de recherche sur les virus de l'*Agricultural Research Council* à Cambridge. Ses travaux ont porté récemment surtout sur la microscopie électronique des virus. Il fut élu membre de la *National Academy of Sciences* des U.S.A. en 1955.

E. N. DA C. ANDRADE,
D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S.,

Est né à Londres en 1887 et a étudié aux Universités de Londres, Manchester et Heidelberg ainsi qu'au Laboratoire Cavendish de Cambridge. Fut nommé en 1928 à la chaire Quain de Physique à l'Université de Londres. Il enseigna quelques années à l'*Artillery College* (appelé maintenant *Royal Military College of Science*). En janvier 1950, il fut nommé Directeur de la *Royal Institution of Great Britain* et du *Davy Faraday Research Laboratory*, mais en 1952 donna sa démission. Il est Membre Correspondant de l'Académie des Sciences.

R. P. BELL,
M.A., B.Sc., F.R.S.,

Naquit en 1907 et fit ses études à *Balliol College*, Oxford, où il retourna en 1932 comme *Fellow* et Chef de Travaux Pratiques après quatre ans de recherches à Copenhague. Il est chargé de cours de chimie physique à l'Université. A étudié surtout la cinétique des réactions de solutions, la catalyse acide-base et s'intéresse aussi aux théories générales des solutions et à l'application de la théorie des quanta aux problèmes chimiques. A été Vice-Président de la *Chemical Society* de 1948 à 1951 et Président de la *Faraday Society* en 1956–57.

N. K. ADAM,
M.A., Sc.D., F.R.S.,

Fit ses études à *Trinity College*, Cambridge, dont il fut Fellow de 1915 à 1921. De 1921 à 1929, occupa le poste de recherche Sorby à l'Université de Sheffield et de 1930 à 1936 fit partie du personnel des *Imperial Chemical Industries* tout en étant Associé honoraire de recherche à *University College*, Londres. A été maître de conférences de chimie dans cet établissement en 1936–37 et professeur de chimie à *University College*, Southampton de 1937 à 1957.

R. G. EDWARDS,
B.Sc., Ph.D.,

Naquit à Leeds en 1925 et obtint ses diplômes au Collège Universitaire de la Galles du Nord, Bangor. Il entra en 1951 à l'*Institute of Animal Genetics* de l'Université d'Edimbourg, où il obtint le Diplôme de génétique animale en 1952. Il poursuit depuis cette date ses travaux sur la reproduction des mammifères dans ce même établissement, ayant été nommé à un poste de recherche par l'*Agricultural Research Council*.

J. L. SIRLIN,
Dr. Nat. Sci.,

Naquit à Buenos-Aires en 1926 et étudia aux Universités de Buenos-Aires, Montevideo et Santiago du Chili. En 1953 il alla étudier sous les auspices du *British Council* à l'*Institute of Animal Genetics* de l'Université d'Edimbourg, où il travaille maintenant pour la *British Empire Cancer Campaign*. Ses travaux ont porté sur la cytochimie de l'embryon et sur la génétique de la souris.